

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO – UNIFESP
CAMPUS DIADEMA

ÉDER JÚNIOR DE SOUZA

FÍSICA FORENSE NA EDUCAÇÃO BÁSICA: UMA PROPOSTA BASEADA NA
ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

DIADEMA
 2019

ÉDER JÚNIOR DE SOUZA

FÍSICA FORENSE NA EDUCAÇÃO BÁSICA: UMA PROPOSTA BASEADA NA
ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Dissertação apresentada ao
programa de Pós-Graduação em
Ensino de Ciências e Matemática da
Universidade Federal de São Paulo -
Campus Diadema, como exigência
parcial para obtenção do título de
mestre em ensino de ciências e
matemática.

Área: Ensino de Ciências

Orientador: Professor Dr. Leonardo
André Testoni

DIADEMA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Éder Júnior de
Física forense na Educação Básica: uma proposta baseada na alfabetização científica / Éder Júnior de Souza. – Diadema, 2019.
112 f.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de São Paulo - Campus Diadema, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo André Testoni

1. Ensino de ciências. 2. Ensino investigativo. 3. Física forense.
4. Argumentação. 5. Alfabetização científica.

I. Título.

CDD 530.07

Folha de Aprovação

Éder Júnior de Souza

FÍSICA FORENSE NA EDUCAÇÃO BÁSICA: UMA PROPOSTA BASEADA NA
ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Dissertação aprovada no programa de
Pós-Graduação em Ensino de Ciências
e Matemática da Universidade Federal
de São Paulo - Campus Diadema.

Orientador:

Professor Dr. Leonardo André Testoni

Aprovado em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Rui Manoel de Bastos Vieira (membro titular) - UNIFESP

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Profª. Dra. Roseli Kunzel (membro titular) - UNIFESP

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Profº Paulo Henrique de Souza (membro titular) - Instituto Parthenon

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Profª. Dra. Máira Batistoni e Silva (membro suplente) – IBUSP

Julgamento: _____Assinatura:_____

Profª. Dra. Marilena Aparecida de Souza Rosalen (membro suplente) -
UNIFESP

Julgamento: _____Assinatura:_____

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Carlos e Luzia, por compartilhar meus momentos de alegrias e angustias na trajetória acadêmica e fora dela, e por enxergar este trabalho como uma conquista pessoal.

À todos os meus professores, da escola básica à universidade, por todo conhecimento compartilhado e pelo carinho. Tenho procurado conduzir meu trabalho em sala de aula da mesma forma, buscando retribuir o que recebi.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leonardo, por toda paciência ao longo destes anos, tendo me auxiliado no final da graduação, na iniciação científica e agora no mestrado. Obrigado por tudo!

Aos meus colegas de graduação e pós-graduação, especialmente ao Márcio e a Natália por toda parceria na trajetória acadêmica.

Aos meus alunos, especialmente os que participaram deste trabalho, que, compartilhando seus conhecimentos e experiências, possibilitaram a realização desta pesquisa.

À toda equipe do colégio Global que, com bons olhos, permitiram a realização deste trabalho.

Ao meu Deus, por ter me possibilitado todas estas coisas.

RESUMO

As páginas que se seguem contêm um estudo de caso qualitativo realizado com alunos do último ano do ensino fundamental de um colégio particular da cidade de São Paulo. A pesquisa desenvolvida buscou investigar o potencial das ciências forenses enquanto estratégia didática, tendo em vista o interesse do público jovem por séries e filmes, que retratam o trabalho de policiais e cientistas forenses. Dado esse potencial, o trabalho em apreciação enfoca a utilização de elementos de física forense para o ensino de física, mais precisamente para o ensino de conceitos de mecânica newtoniana. Com essa perspectiva, apresenta-se, neste trabalho, uma proposta de utilização de física forense para o ensino do princípio da conservação da quantidade de movimento e leis do movimento e analisa-se os resultados obtidos a partir da implementação da proposta. Fundamentada em princípios construtivistas de ensino e tendo em vista que a física forense possui o potencial de engajar os participantes em propostas investigativas, pensamos a atividade de forma a inserir os alunos em um ambiente de discussões e de resolução de problemas, buscando identificar alguma evolução argumentativa por parte dos alunos, bem como indícios do desenvolvimento do processo de alfabetização científica em sala de aula. Os dados coletados a partir de questionários e gravações das aulas evidenciam resultados favoráveis quanto à aprendizagem dos conceitos científicos mencionados anteriormente e sugerem ainda que a aproximação entre as ciências forenses e a sala de aula pode ser benéfica ao processo de ensino e aprendizagem dos alunos, auxiliando no desenvolvimento da capacidade argumentativa e colaborando com o desenvolvimento do processo de alfabetização científica dos discentes.

Palavras chaves: ensino de ciências, ensino investigativo, física forense, argumentação e alfabetização científica.

ABSTRACT

The following pages contain a qualitative case study carried out with seniors of elementary school from a private school in the city of São Paulo. The research developed sought to investigate the potential of the forensic sciences as a didactic strategy, taking into account the interest of young audiences by series and films, which portray the work of police and forensic scientists. Given this potential, this work focuses on the use of elements of forensic physics for the teaching of physics, more precisely for the teaching of concepts of Newtonian mechanics. With this perspective, we present, in this work, a proposal for the use of forensic physics to teach the principle of the conservation of movement quantity and laws of motion and analyze the results obtained from the implementation of the proposal. Based on constructivist principles of teaching and considering that forensic physics has the potential to engage the participants in research proposals, we think the activity in order to insert students in an environment of discussions and problem solving, seeking to identify some argumentative evolution as well as evidence of the development of the process of scientific literacy in the classroom. The data collected from questionnaires and class recordings show favorable results regarding the learning of the scientific concepts mentioned above and also suggest that the approximation between the forensic sciences and the classroom can be beneficial to the teaching and learning process of the students, helping in the development of the argumentative capacity and collaborating with the development of the process of scientific literacy of the students.

Key words: science teaching, investigative teaching, forensic physics, argumentation and scientific literacy.

SUMÁRIO

MOTIVAÇÕES	11
INTRODUÇÃO	14
1 QUADRO TEÓRICO	20
1.1 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DE CIÊNCIAS	20
1.2 OS PRESSUPOSTOS DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO	23
1.3 A FÍSICA FORENSE E O ENSINO DE CIÊNCIAS	27
1.3.1 <i>Fundamentos para análise do processo de frenagem</i>	29
1.3.2 <i>O coeficiente de atrito entre via e pneus</i>	31
1.3.3 <i>Bloqueio das rodas na situação de frenagem e escorregamento</i>	32
1.3.4 <i>Estimando a velocidade do veículo a partir das marcas de frenagem na via</i>	33
1.4 A CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO NO ACIDENTE	36
1.5 A DIMENSÃO ARGUMENTATIVA E A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM	39
1.5.1 <i>O conhecimento científico escolar</i>	40
1.5.2 <i>A alfabetização científica e a formação do indivíduo</i>	42
1.5.3 <i>A construção dos argumentos em sala de aula</i>	48
1.6 O PADRÃO PARA ANÁLISE DE ESTRUTURAS ARGUMENTATIVAS PROPOSTO POR STEPHEN TOULMIN	49
2 A PESQUISA	53
2.1 OBJETIVOS E ASPECTOS GERAIS DA PROPOSTA	53
2.1.1 <i>A escolha da escola</i>	54
2.1.2 <i>A proposta e os instrumentos utilizados</i>	55
2.1.2.1 <i>Questionário para identificação de concepções espontâneas</i>	56
2.1.2.2 <i>As questões norteadoras e a atividade utilizada</i>	59
2.1.3 <i>A validação do material utilizado na pesquisa</i>	62
2.2 METODOLOGIA DE PESQUISA	62
2.2.1 <i>Acessando os dados</i>	63
2.2.1.1 <i>Registro em áudio e vídeo</i>	64

2.2.1.2 Registro e transcrição das falas	65
3 ANÁLISE DOS DADOS	66
3.1 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO INICIAL.....	66
3.1.1 <i>Considerações sobre o questionário inicial</i>	75
3.2 ANÁLISE DAS DISCUSSÕES EM GRUPO.....	75
3.2.1 <i>O padrão de Stephen Toulmin</i>	86
3.3 O TESTE DE HIPÓTESES E CONFIRMAÇÃO DA PREVISÃO COM....	96
AUXÍLIO DOS CARRINHOS.....	96
3.4 ANÁLISE DAS DISCUSSÕES DO GRUPO (B) A PARTIR DO PADRÃO DE TOULMIN	97
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS.....	106
APÊNDICE A – Resolução das questões norteadoras.....	106111

MOTIVAÇÕES

A motivação para esta pesquisa surge a partir das aulas de práticas de ensino de física II, no curso de licenciatura em ciências, da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, estudando os vídeos do LAPEF (Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física) sobre as atividades investigativas; o engajamento dos alunos nas atividades e as brilhantes respostas registradas em vídeos chamaram-me a atenção.

Naquele momento do curso, já tínhamos tido contato com diversos autores e pesquisadores da área de ensino de ciências, inclusive uma das responsáveis pelo brilhante trabalho realizado pelo grupo do LAPEF, a professora Ana Maria Pessoa de Carvalho, mas o impacto do material registrado nas vídeo/gravações foi imediato, não tive dúvidas em relação ao potencial do ensino investigativo em sala de aula.

Chamou-me a atenção, também, as respostas que os alunos deram para os questionamentos feitos pela professora e a capacidade que eles demonstraram em relacionar os conteúdos científicos com o cotidiano; esses fatos despertaram em mim o interesse em aprofundar meus conhecimentos acerca desta temática.

Para o desenvolvimento da pesquisa em apreciação, recorreremos aos princípios do ensino investigativo, em suas características e, principais momentos (etapas). Esta investigação também é fruto de um trabalho exploratório desenvolvido em um projeto de iniciação científica que teve início em 2014, com duração de um ano, ainda durante o período de graduação do autor desta pesquisa.

Em uma proposta piloto, aplicamos a primeira atividade centrada na proposta investigativa, envolvendo elementos de física forense, para alunos da rede privada da cidade de São Paulo.

Nesta proposta, discutimos a importância de um perito forense na solução de problemas, cuja interpretação é de interesse do poder judiciário. Discutimos também as possibilidades de atuação deste profissional, em situações envolvendo questões físicas como reconstrução de acidentes de trânsito e determinação de trajetórias de projéteis, sendo, portanto, função de

um cientista forense, a coleta e análise dos dados encontrados em uma cena de crime, à luz de conhecimentos científicos (FERREIRA; TESTONI, 2008).

O objetivo da atividade aplicada aos alunos consistiu em investigar o potencial da física forense enquanto ferramenta didática para promover o engajamento em aulas de física e desencadear discussões em que os alunos protagonizam as argumentações sobre conceitos científicos.

Buscou-se, com esta proposta, encontrar estratégias para superar o atual cenário do ensino de física que, quase sempre é centrado puramente na memorização de conteúdos (MOREIRA, 2013).

Os temas abordados na proposta inicial foram conceitos de inércia e força de atrito. No questionário inicial, verificamos que a maioria dos alunos ainda associava o conceito de inércia à ideia de força, e o conceito de atrito é predominantemente vinculado à diminuição na velocidade, em conformidade com referenciais teóricos da área (GUIMARÃES, 1987; TESTONI, 2004).

Os resultados obtidos foram apresentados no Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), do ano de 2015, em Águas de Lindóia – SP. Dos resultados apresentados, destacamos, como principal contribuição da proposta, seu potencial de promover o engajamento dos alunos na atividade, propiciando e desencadeando processos de argumentação em aulas de física em que os participantes envolvidos precisaram recorrer a conceitos científicos para defender ou refutar um ponto de vista.

Tendo em vista o relato acima, surge o interesse de pesquisar, em nível de pós-graduação (*stricto sensu*), o potencial da ciência forense como ferramenta didática para promover o engajamento dos alunos em discussões sobre conceitos de física, e analisar, com maior profundidade, a partir de processos argumentativos, se essa proposta é capaz de favorecer a aprendizagem de conceitos científicos.

É importante salientar que os dados coletados nas primeiras aplicações da proposta, ainda na iniciação científica, não foram utilizados neste trabalho, os materiais utilizados em sala de aula com os alunos também não foram os mesmos, apenas foi mantida a essência da proposta que são as atividades investigativas pautadas em elementos de física forense.

Para o trabalho em apreciação, obtivemos dados novos, com outro público, que apresentaremos no decorrer deste trabalho, e fizemos a análise

dos dados à luz de outros referenciais teórico da área, os indicadores de alfabetização científica (AC), propostos por Sasseron (2008), e o padrão de análise de processos argumentativos de Stephen Toulmin que fornece alguns parâmetros para estudar processos argumentativos e sua estruturação.

INTRODUÇÃO

A presente pesquisa visou investigar o potencial da física forense enquanto estratégia didática para o ensino de física nos anos finais do ensino fundamental, tendo em vista a proximidade deste público com a temática em questão (SOUZA, 2006).

Entendemos as ciências forenses como uma área interdisciplinar que envolve física, química, biologia, matemática, entre outras, mobilizadas para fornecer suporte às investigações relativas à justiça civil e criminal (CHEMELLO, 2006).

Em sua atuação, o profissional forense tem a função de confirmar a autoria ou descartar qualquer envolvimento de suspeitos(as) em situações cuja interpretação é do interesse judiciário.

As técnicas utilizadas permitem, por exemplo, identificar, com relativa precisão, se uma pessoa, esteve ou não numa cena de crime, a partir de uma impressão digital ou fio de cabelo encontrado no local. Pode-se ainda, através de técnicas analíticas, determinar se uma pessoa realizou ou não um disparo com arma de fogo, mesmo se as mãos forem lavadas após o disparo, pois os resíduos penetram na pele e a detecção é possível, em média, até cinco dias após o ocorrido.

Os especialistas forenses podem ainda analisar a autenticidade de obras de arte e de documentos ou periciar combustíveis adulterados, estes são alguns exemplos de atividades desenvolvidas por peritos (SEBASTIANY et al., 2013).

Este tipo de trabalho ganhou notoriedade, principalmente, a partir de séries televisivas como CSI (*Crime Scene Investigation*), série considerada motivadora do “efeito CSI”, atribuído, por alguns estudiosos, a determinadas decisões tomadas por jurados perante a insuficiência de provas científicas, esperando que todos os julgamentos reais possuam evidências forenses que auxiliariam na solução do crime (CHEMELLO, 2006).

A questão é que nem sempre os julgamentos reais serão parecidos com aqueles casos que assistimos em seriados, com inúmeras evidências dando suporte a cada detalhe da narrativa (hipótese) de defesa ou acusação,

permitindo inclusive uma reconstrução dos passos do criminoso e da vítima, mesmo quando existem tais evidências, elas nem sempre proporcionam resultados conclusivos e inquestionáveis após análises forenses cuidadosas, em outras palavras o efeito CSI representa uma visão simplista do trabalho dos investigadores.

Séries televisivas, como o CSI, por exemplo, possui seu aspecto positivo, por ser capaz de despertar o interesse por temas científicos, principalmente entre os jovens (CHEMELLO, 2006; SOUZA, 2006).

Quem nunca se encantou assistindo a um bom filme e/ou série de cunho investigativo? Acompanhando com ansiedade o trabalho dos peritos e, muitas vezes até se arriscando a dar um palpite sobre o desfecho final do filme ou episódio da série.

Partimos desta ideia para investigar o potencial da utilização de elementos de física forense pautada numa proposta de ensino investigativo, para promover discussões sobre conceitos científicos em sala de aula, contribuindo assim para o processo de ensino e aprendizagem dos alunos.

O potencial que as ciências forenses e as investigações criminais possuem em despertar interesse sobre temas científicos pode-nos auxiliar na construção de um saber cada vez mais sistêmico e contextualizado (FIEDLER-FERRARA; MATTOS, 2002), além de possibilitar a contextualização do trabalho (CUNHA; GIORDAN, 2009), por se tratar de uma área interdisciplinar, o que pode auxiliar a romper com uma visão fragmentada do conhecimento científico, ampliando o repertório dos estudantes acerca de conceitos e fenômenos científicos, bem como suas possibilidades de integração e aplicações no cotidiano (SEBASTIANY, op. cit.).

Em ressonância com as idéias apresentadas acima, Filho e Antedomenico (2010) sugerem ainda a utilização de séries e filmes em sala de aula, por se tratar de uma estratégia de ensino muito relevante.

As pesquisas citadas anteriormente apontam para uma ampliação do acesso a determinados conteúdos científicos por parte do público em geral, por meio de filmes e séries televisivas, por exemplo, que mesmo apresentando, em alguns casos, grande volume de violência, trazem conteúdos que podem ser utilizados, com devida adaptação e preparo, como dispositivo facilitador para fomentar a prática do professor em sala de aula (FISCHER, 2002).

Enfatizamos que utilização de séries e filmes com finalidade didática não foi o objetivo deste trabalho, mas as conclusões dos autores acima apontam para uma aproximação das ciências forenses em relação ao ensino de ciências de maneira geral, e demonstram sua capacidade de levar discussões sobre temas científicos à sala de aula.

Gostaríamos de compartilhar com o leitor uma de nossas primeiras indagações sobre as discussões levantadas. Intrigou-nos o fato de os alunos continuarem apresentando as mesmas dificuldades no processo de aprendizagem de conceitos científicos, mesmo após já terem tido o primeiro contato com tais conceitos fora do ambiente formal de educação.

Mesmo que de forma não intencional, a experiência cotidiana, a leitura de jornais e revistas, programas televisão, visitas a museus, zoológicos e centros de ciências, também caracterizam uma modalidade de educação, como aponta Gaspar (1992), para o autor trata-se de uma educação informal.

Sendo assim, por que, em geral, o público jovem continua apresentando dificuldade em aprender conceitos científicos na escola básica?

A ampliação do acesso a conteúdos de cunho científico não contribuiu para a aprendizagem de conceitos de ciências, mesmo que de forma informal?

Responder aos questionamentos apresentados não é o objetivo deste trabalho, entretanto, pesquisas apontam que tais dificuldades podem estar associadas a diversos fatores que permeiam o atual ensino de física, tais como o despreparo e desvalorização do professor, o ensino de respostas corretas sem questionamentos, ensino centrado no professor e não no aluno (MOREIRA, 2013).

Podemos ainda, mencionar o fato de enfrentarmos a falta de políticas públicas voltadas à educação de forma geral, o que reflete em problemas como a desvalorização do professor, lotação de salas e falta de recursos básicos ao dia a dia escolar.

A desvalorização da profissão docente atinge não somente o segmento do ensino de física, mas a educação de maneira geral, portanto fazem-se necessárias políticas públicas que revalorizem a carreira docente, caso contrário estaremos negando aos cidadãos o direito a uma educação digna e de qualidade (GIACOMINI; LÜDKE, 2018).

Dos desafios citados anteriormente, destacamos nesta pesquisa o ensino voltado exclusivamente para resolução de problemas de lápis e papel, que não leva em consideração a importância da reflexão no processo de ensino e aprendizagem (ZYLBERSTAJN, 1998), e tendo em vista a proximidade das ciências forenses do cotidiano discente e seu potencial desencadeador de discussões em sala de aula, uma indagação se faz necessária:

Por que não utilizar elementos da ciência forense para favorecer discussões sobre física em sala de aula?

Trata-se de um conteúdo familiar à maioria dos alunos, é acessível, possui grande potencial em relação ao fator curiosidade, necessitando apenas de um delineamento e seleção de conteúdos para sua implementação em sala de aula.

Sendo assim, propomos, como contribuição para um ensino de física contextualizado, que leve em conta o levantamento de hipóteses, bem como o teste de concepções prévias dos alunos, uma maior aproximação da física forense ao ensino de física, uma vez que pesquisas apontam que tal conteúdo não é estranho ao público adolescente e, em geral, desperta interesse e curiosidade (CHEMELLO, 2006; CUNHA; GIORDAN, 2009; SOUZA, 2006).

Naturalmente não esperamos substituir todas as metodologias e estratégias existentes ou adotadas atualmente, pelo ensino por investigação descrito neste trabalho. Quando pensamos em desenvolver esta pesquisa, tínhamos e continuaremos a ter o interesse em refletir sobre nossas práticas em sala de aula, bem como sobre o ensino de física de maneira geral, e a partir destas reflexões, propomos algo que possa contribuir com o trabalho do professor da escola básica.

Sendo assim, o presente trabalho é uma tentativa de somar estratégias e não substituir uma abordagem por outra, mesmo porque não acreditamos que o ensino por investigação possa resolver todos os problemas do ensino de física, nem temos a pretensão de fazê-lo.

Neste trabalho, temos dois pilares de sustentação que fornecem o suporte necessário à pesquisa, são eles: a investigação e a problematização em sala de aula. Para Carvalho (2011), uma proposta de ensino por investigação está dividida em quatro momentos, são eles.

- apresentação do problema para investigação;
- a manipulação do material experimental;
- a tomada de consciência;
- a explicação do problema.

Nota-se que uma proposta de ensino investigativo leva em consideração a importância da problematização, isto porque a apresentação de um problema inicial permite ao indivíduo questionado, a organização de ideias para então argumentar sobre uma situação problema (CARVALHO, 2011). Os argumentos e explicações que aparecerão para justificar um posicionamento são decorrentes da experiência cotidiana do aluno, o chamado conhecimento prévio (ZYLBERSTAJN, 1983), que não necessariamente está incorreto.

Durante a proposta investigativa, estes conhecimentos prévios ou espontâneos serão problematizados, conduzindo os alunos a iniciar processos argumentativos para reforçar ou refutar um determinado ponto de vista sobre a interpretação do problema proposto pelo professor.

Com os processos argumentativos, a partir de uma proposta que leva em consideração a importância da problematização no processo de ensino e aprendizagem, procuramos criar um ambiente que possibilite aos alunos pensar e resolver um problema, conduzindo-os em processos de levantamento e testes de hipóteses.

Para Paul Hurd (1998), tais propostas fomentam o desenvolvimento de habilidades necessárias ao indivíduo para que ele consiga interagir com os conhecimentos e informações científicas atuais em constante mudança, ou seja, contribui para uma formação plena do indivíduo, o que o autor chama de processo de alfabetização científica.

A partir do exposto, apresentamos nossa principal indagação e questão de pesquisa diante da problemática apresentada: *Como a física forense, inserida numa proposta investigativa, pode contribuir para promoção do processo de alfabetização científica em sala de aula?*

Como mencionado na questão de pesquisa, queremos analisar como a física forense pode contribuir para tal processo, tendo em vista que, não esperamos que nossos alunos saiam do ensino fundamental alfabetizados

cientificamente, mas consideramos a importância de iniciar este processo ainda no ensino fundamental (LORENZETT; DELIZOICOV, 2001).

Esta pesquisa foi realizada com alunos do último ano do ensino fundamental numa escola privada da cidade de São Paulo. A coordenação, assim como os alunos e responsáveis foram informados com antecedência e assinaram os termos cabíveis para participação voluntária nas atividades.

O material de análise desta pesquisa foi coletado a partir de questionários prévios e gravações em áudio e vídeo. Todo material coletado foi transcrito para análise, que foi feita à luz do padrão de evolução argumentativa proposto por Toulmin (2006) e dos indicadores de alfabetização científica propostos por Sasseron (2008).

1 QUADRO TEÓRICO

Neste capítulo, definimos nosso aporte teórico para pesquisa, relacionando o pensamento de diferentes autores. Para isso, optamos por dividir este capítulo em três eixos centrais: o primeiro deles diz respeito aos pressupostos do ensino investigativo, da importância da problematização para o ensino de ciências e do conhecimento prévio que o aluno traz para a sala de aula, decorrente de sua vivência.

No segundo eixo, discutimos o papel da física forense na pesquisa, traçando suas relações com a vertente lúdica da proposta.

Por fim, definimos a dimensão argumentativa da pesquisa, tecendo o diálogo desta vertente com o processo de alfabetização científica (AC) em sala de aula. Abordamos ainda, a importância da argumentação, enquanto estratégia didática e possível indicador de alfabetização científica, a partir de um referencial amplamente utilizado em pesquisas de ensino de ciências para análise de argumentações em sala de aula, o padrão argumentativo de Stephen Toulmin.

1.1 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DE CIÊNCIAS

Os trabalhos da área de educação em ciências têm apresentado alguns dos principais problemas vividos pelo segmento na atualidade, são eles: despreparo dos professores, o número reduzido de aulas e, sobretudo, o que em geral o ensino de física contemporâneo está favorecendo, a aprendizagem mecânica de conceitos desatualizados e a memorização de conteúdos (MOREIRA, 2013).

Os problemas mencionados pelo autor supracitado remetem à falta de políticas públicas voltadas à educação, o que fomenta a desvalorização da carreira docente, tornando-a menos atrativas para os jovens que não se sentem motivados a se tornarem professores(as).

Tudo isto corrobora com os problemas apontados por Giacomini e Lüdke (2018), como a lotação de salas e a falta de recursos básicos para o trabalho escolar, e, além dos problemas mencionados pelos autores, posso citar outros que tive a oportunidade de vivenciar enquanto professor da educação pública de São Paulo, como a baixa remuneração, ausência ou valor insuficiente para transporte e alimentação do docente e o baixo incentivo à formação continuada em cursos de pós-graduação.

Para os autores Giacomini e Lüdke (op.cit.) tal situação, além de contribuir para a desvalorização da carreira docente, representa um equívoco do ponto de vista constitucional por negar uma educação pública de qualidade aos nossos jovens.

De todos os desafios apresentados, a pesquisa em apreciação se debruça sobre a dimensão da aprendizagem puramente mecânica de conceitos e memorização de conteúdos, essencialmente matemático-operacional, sem experimentos, desvinculada da vivência dos alunos ou da prática dos cientistas (ZANETIC, 1989).

Martins (2006), por sua vez, destaca também a importância de se levar em considerações fatores como erros, controvérsias, debates e formulação de hipóteses, sugerindo que desta forma poderíamos elucidar a complexidade envolvida nas criações e descobertas científicas.

Como mencionado anteriormente, são muitos os desafios da educação, de maneira geral, são muitos também os pesquisadores que pensam o processo de ensino aprendizagem dos alunos e a prática do professor em sala de aula.

Por isso, não teríamos condições de nos debruçarmos sobre todas as questões levantadas, bem como de discuti-las com profundidade necessária, tendo em vista a complexidade de cada um desses problemas. Entretanto, considerando a relevância destas questões para o ensino de maneira geral, faz-se necessário mencioná-las nesta pesquisa para introduzir nosso tema de estudo, bem como para apresentar a contribuição que objetivamos deixar.

Focamos nossas investigações apenas no questionamento de pesquisa já apresentado no corpo da dissertação:

Como a física forense, inserida numa proposta investigativa, pode contribuir para promoção do processo de alfabetização científica em sala de aula?

Queremos, com este trabalho, auxiliar os discentes a romper com a visão de ciência desvinculada do cotidiano, que destina-se à resolução de problemas de lápis e papel, puramente.

Naturalmente, não pretendemos alcançar este objetivo apenas uma proposta de aula ou sequência didática, mas esperamos que a pesquisa contribua para um ensino de física que leve em consideração a problematização em sala de aula, fomente processos argumentativos e proporcione aos alunos a oportunidade de vivenciar etapas do fazer científico, tais como o levantamento de hipóteses e a justificação de um ponto de vista, a partir da observação de uma situação ou fenômeno,

Vale ressaltar que a atividade científica não é uma receita infalível e rígida, tão pouco possui um método universal (MOREIRA, 1993).

Mesmo porque, não podemos simplesmente descartar as abordagens mais tradicionais, ou atribuir a elas a culpa por indicadores ruins de aprendizagem, pois já apresentamos outros fatores que estão direta e indiretamente relacionados à qualidade do ensino.

Acreditamos também, a partir de nossas experiências em sala de aula, que mesmo as abordagens consideradas mais tradicionais podem ser conduzidas de forma dialogada, problematizando e refletindo sobre um exercício de lápis e papel.

A partir do exposto anteriormente, apresentaremos agora, os três eixos teóricos que fundamentam o aporte teórico desta pesquisa, começando pelo ensino investigativo, para então apresentar os demais e tecer as conexões entre eles.

1.2 OS PRESSUPOSTOS DO ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

Pensando na problemática central apresentada anteriormente, objetiva-se, neste momento, construir o diálogo entre os referenciais teóricos adotados neste trabalho e justificar a atividade desenvolvida.

Nossa proposta é a utilização do ensino investigativo, sob uma temática forense, que busca contribuir com o ensino de física.

Para Carvalho (2011), em propostas investigativas, o aluno tem participação ativa em seu processo de ensino e aprendizagem, o que, segundo a autora, representa a base de todas as teorias construtivistas que dão fundamentação às propostas de ensino por investigação.

Refletindo sobre estas questões, faz-se necessário apresentar as características do construtivismo que, por sua vez, possui três pressupostos norteadores, como aponta Carvalho (1992).

1. o aluno é construtor de seu conhecimento;
2. o conhecimento é contínuo;
3. o conhecimento a ser ensinado deve partir do conhecimento que o aluno traz para a sala de aula, decorrente de sua vivência.

De acordo com Masetto (1996), no construtivismo, o aluno é protagonista de seu processo de aprendizagem, desempenhando participação ativa em atividades que envolvam a formulação de hipóteses para resolução de problemas, a manipulação de materiais experimentais, e a interação com os demais colegas de classe e com o professor.

O ensino é baseado no ensaio e erro, na pesquisa, na investigação, na solução de problemas por parte do aluno e não a aprendizagem de formulas, nomenclaturas, definições, etc. Assim a primeira tarefa da educação consiste em desenvolver o raciocínio (MASETTO, 1996, p. 44).

Na pesquisa em apreciação, utilizamos como principal metodologia o ensino por investigação que, de acordo com Carvalho (2011), esta

fundamentada em ideais construtivistas. O ensino investigativo, aqui descrito, está em ressonância com os trabalhos apresentados pela professora Ana Maria Pessoa de Carvalho, como já mencionado nas motivações desta pesquisa.

O ensino investigativo permite que o aluno seja protagonista no processo de ensino e aprendizagem, construindo seu conhecimento durante as aulas em atividades que favoreçam o desenvolvimento de habilidades tais como: tomar decisões, avaliar e resolver problemas, o que contribui para o desenvolvimento da autonomia do aluno (CARVALHO, 2012).

Naturalmente, não esperamos que os alunos reconstruam todos os conceitos científicos, modelos e leis físicas desenvolvidos ao longo da história e aceitos no meio acadêmico atualmente, mas busca-se inserir o aluno em ambiente de aprendizagem que favoreça seu engajamento tornando o processo o mais significativo possível do ponto de vista do aluno, por meio de uma aprendizagem ativa (MOREIRA, 2013).

Quando auxiliamos os discentes a construírem seu conhecimento, favorecemos, dentre outras coisas, a formação de habilidades que permitirão ao indivíduo refletir sobre um problema dentro ou fora do contexto escolar, tornando os alunos capazes de pensar hipóteses para solucionar um problema ao visualizá-lo, neste processo estamos alfabetizando cientificamente os nossos alunos (SASSERON, 2008; CARVALHO, 2011).

Para conduzir o estudante neste processo, previsto no primeiro pressuposto do construtivismo, levamos também em consideração a importância do conhecimento prévio do aluno como aponta Zylberstajn (1983).

Em geral tais propostas investigativas possuem uma estrutura básica, e assim como o próprio construtivismo, possui alguns pressupostos, que apresentamos como Carvalho (2011) propôs, na condição de etapas ou momentos. As etapas de uma proposta investigativa são:

1. apresentação do problema para investigação;
2. a manipulação do material experimental;
3. a tomada de consciência do aluno em relação ao problema proposto;
4. a explicação do problema.

A apresentação de um problema no início da atividade investigativa contribui para que o aluno mobilize seus conhecimentos prévios em função do desafio apresentado pelo professor.

O questionamento inicial, em tais propostas didáticas, desempenha a função de nortear o processo investigativo, podendo assumir diferentes formatos, mais aberto ou fechado, como, por exemplo, em propostas do tipo “receita de bolo” ou com problemas mais elaborados e desafiadores com poucos elementos apresentados inicialmente pelo professor, como aponta Azevedo (2005).

Em geral, uma proposta que vê o problema ou desafio como gênese do conhecimento e que leva em consideração que todo conhecimento é fruto da resposta a um questionamento (CARVALHO, 2012; DELIZOICOV, 2005), inspira-se no filósofo da ciência Gaston Bachelard.

Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma questão. Se não houve questão, não pode haver conhecimento científico. Nada ocorre por si mesmo. Nada é dado. Tudo é construído. (BACHELARD, 1977, p.148).

No que se refere à manipulação do material experimental ou material didático, existem algumas possibilidades como aponta Carvalho (2013), por exemplo, o recurso a ser utilizado para apresentar o problema pode ser um texto, uma figura ou aparato experimental, tomando o devido cuidado para que os alunos possam resolvê-lo sem se perder.

Ainda segundo Carvalho (2013), é interessante que o material a ser manipulado durante a aula possibilite que o aluno explore a situação proposta de diferentes maneiras para resolver o problema, pois é a variação das ações sobre o problema que fornecerá diferentes observações, bem como favorecerá discussões sobre a questão proposta fomentando diferentes pontos de vista sobre o problema, com diferentes argumentos para sustentar tais pontos de vista.

É nesta etapa que os alunos apresentam suas hipóteses para solução e interpretação do problema proposto, esperamos ainda que as hipóteses e argumentos oriundos das discussões forneçam condições para uma ação

manipulativa mais complexa, no sentido da tomada de consciência a respeito do problema proposto.

No processo de tomada de consciência, importa-nos as ações manipulativas que auxiliam os alunos no processo de discussão e não apenas o conceito que se pretende ensinar.

Acreditamos na importância da formulação e testes de hipóteses para resolução do problema gerador, de todas as ideias, as que deram certo e as que não deram durante os testes, no mínimo as hipóteses não comprovadas podem nos fornecer as variáveis que não interferem na interpretação do problema (CARVALHO, 2013).

A partir do teste das ideias propostas durante as discussões, os alunos tomam ou adquirem maior consciência acerca do problema e de sua interpretação, sendo papel do professor auxiliar os alunos, quando necessário, no processo de tomada de consciência do problema que nem sempre ocorrerá espontaneamente (CARVALHO, 2011).

As discussões com os alunos precisam chegar até a explicação do problema proposto, ou fenômeno de estudo. Podemos notar esta fase quando, segundo Carvalho (2011), os alunos deixam de serem eles próprios os agentes e passam a falar do fenômeno como um agente.

Durante o processo da explicação, ao responderem “por que deu certo o problema?” Carvalho (op. cit.) aponta que alguns alunos restringem-se as explicações legais, dando suporte às leis, enquanto outros vão mais longe, tecendo explicações causais e, neste momento, eles precisam recorrer a palavras novas para comunicar-se e, para a autora supracitada, este momento representa o início do processo de conceitualização, pois os alunos podem ir além, atribuindo, segundo ela, uma inovação ou palavra nova, para dar coerência às explicações.

É importante dizer que não esperamos que os alunos reconstruam todas as leis, conceitos e conhecimentos científicos acumulados ao longo da história, a partir da proposta investigativa em apreciação, também não esperamos que o ensino por investigação resolva todos os problemas do ensino de física, tão pouco propomos a substituição do formato de ensino predominante, por propostas de caráter construtivistas ou pelo próprio ensino por investigação, mas esperamos chamar a atenção para elementos que consideramos

essenciais quando discutimos uma educação que tenha como objetivo a alfabetização científica dos alunos.

Destacamos ainda que, não necessariamente, propostas que apresentem apenas a resolução de lápis e papel são mecânicas e desmotivadoras, mas acreditamos na possibilidade da promoção de discussão e problematização de um problema utilizando apenas os bons e velhos recursos do professor, a lousa e o giz, mas este fato não descarta a viabilidade de um formato de ensino que se de por meio de múltiplas abordagens.

A partir do exposto acima, apresentaremos na sequência o segundo eixo do quadro teórico desta pesquisa, a forma como a física forense foi utilizada para promover discussões em sala de aula e engajar os alunos na atividade, abordando essa temática sob uma vertente lúdica e explorando suas potencialidades com finalidade didática.

No decorrer deste capítulo, descrevemos falamos sobre a física forense, propriamente dita, bem como sua adaptação para o ensino de ciências descrito nesta proposta.

1.3 A FÍSICA FORENSE E O ENSINO DE CIÊNCIAS

A física aplicada às pesquisas forenses é o segmento da física que tem como principal objetivo observar, analisar, interpretar e se necessário reconstruir situações que envolvam fenômenos físicos naturais, cuja interpretação é de interesse do poder judiciário (FERREIRA; TESTONI, 2008).

Dentre as diversas funções de um físico forense, destacamos as mais comuns: análise de acidentes de trânsito, determinação do tipo de veículo a que possam pertencer fragmentos como pedaços de lanternas e para-choques encontrados no local onde aconteceu o acidente e reconstruir, quando necessário, a dinâmica de homicídios, envolvendo, por exemplo, questões balísticas, tais como: trajetória de projéteis, distância em que foi efetuado o disparo, os orifícios de entrada e saída desses projéteis.

Os mínimos detalhes, por mais que pareçam irrelevantes e grotescos, passando despercebidos para os leigos são, na maioria das vezes, o elo entre

a teoria e o ocorrido, sendo de extrema importância na solução da maior parte dos casos.

Podemos mencionar como exemplo, a análise da posição de imobilização dos veículos numa situação de colisão para determinar suas trajetórias antes do choque, outro ponto importante são as condições dos pneus e da via (seca ou molhada) na questão do tempo de frenagem e na distância que o veículo percorre até parar.

Na proposta de aula utilizada com os alunos tais detalhes são relevantes para discussão, pois numa das questões norteadoras – *como aconteceu o acidente?* – faz-se necessário analisar as possíveis trajetórias dos veículos antes da colisão para determinar qual dos veículos cometeu a infração.

Podemos destacar ainda as marcas de frenagem deixadas na via por um dos veículos, que nos permitem afirmar, por exemplo, que, momentos antes da colisão o veículo que deixou as marcas trafegava na contramão.

Tais elementos podem ser considerados simples ou irrelevantes para o aluno em um primeiro momento, mas o professor pode e deve chamar a atenção para esses detalhes quando julgar necessário, questionando-os sobre os pormenores da atividade e fornecendo argumentos para fomentar as discussões.

As investigações conduzidas por profissionais acerca de um acidente de trânsito evidenciam o caráter prático da ciência em que conceitos de mecânica newtoniana, que fazem parte do currículo escolar, são mobilizados para elucidar as causas do acidente.

Há algumas vantagens pedagógicas para o ensino de conceitos de mecânica newtoniana, a partir de propostas que levam em consideração elementos de física forense (KLEER et al., 1997), são eles:

- (a) Evidencia a relevância da física e mostra como esta pode ser aplicada para resolver problemas práticos da vida real;
- (b) Fornece ótimos exercícios de problemas que permitem diferentes métodos de resolução;
- (c) Fornece exercícios de levantamento e teste de hipóteses, por exemplo, declaração de testemunhas;
- (d) Promove a consciência acerca de questionamentos científicos sobre problemas da vida real que necessitam ser complementados, por exemplo, por considerações legais e morais;
- (e) Reforça a importância da

segurança nas estradas, evidenciando as vantagens do uso do cinto de segurança e da obediência às leis do trânsito. (KLEER et. al, 1997 p. 161)

A seguir apresentamos alguns conceitos de mecânica, que fazem parte do currículo básico, e que são utilizados por peritos para analisar situações reais de acidentes de trânsito, são eles:

- Atrito;
- Leis de Newton;
- Conservação do Momento Linear.

A partir do estudo destes temas é possível compreender a dinâmica do hipotético acidente de trânsito proposto neste trabalho e investigado pelos alunos durante as aulas.

Neste momento, julgamos necessário fazer uma discussão conceitual sobre esses temas que correspondem a fundamentação científica para explicação do acidente de trânsito investigado pelos alunos.

1.3.1 Fundamentos para análise do processo de frenagem

Em linhas gerais, o processo de frenagem de veículos consiste na aplicação de uma força ao pedal de freio, o resultado é a geração de um torque nas rodas do veículo que produzirá a alteração de seu movimento. Esta ação produzirá grandes forças de atrito entre os pneus e a superfície da estrada (DUKKIPATI et al., 2008).

Supondo um veículo em movimento sob ação de uma força de frenagem constante, que produz uma variação (ΔV) em sua velocidade em um intervalo de tempo (Δt), podemos definir um valor médio da aceleração (a) que atua sobre este veículo durante o processo de frenagem, conforme a equação 1.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} \quad (1)$$

Na forma como a equação 1 aparece, o valor da aceleração será negativa quando o carro estiver desacelerando. Para o problema apresentado na atividade investigativa, consideramos que apenas a força de atrito atua sobre o veículo durante o processo de frenagem, isto é, desconsideramos qualquer arrasto aerodinâmico, resistência ao rolamento, ou qualquer inclinação na via.

Desta forma, podemos determinar o valor da aceleração durante o processo de frenagem utilizando a segunda lei de Newton que discute a produção de uma aceleração a partir de uma força resultante externa agindo sobre um corpo, que no problema em questão é a própria força de atrito (\vec{F}_{at}) entre os pneus do veículo e a via.

$$\sum \vec{F}_{r_{ext}} = m \cdot \vec{a} \quad (2)$$

Em que (\vec{F}_r) (força resultante externa) da equação 2 é a soma vetorial de todas as forças agindo sobre o corpo (veículo) de massa (m), como mencionado.

Ainda sobre o problema em discussão, retratado no hipotético acidente de trânsito, representado no croqui, consideramos que a força de atrito responsável pelo processo de frenagem atua apenas em uma única dimensão, portanto, neste caso, a força resultante externa (força de atrito) que atua sobre o veículo possui apenas uma componente.

Sendo a força de atrito (\vec{F}_{at}) a única força externa que atua sobre o veículo durante o processo de frenagem, e sendo esta força unidirecional, temos:

$$\vec{F}_{at} = m \cdot \vec{a} \quad (3)$$

As leis de forças para o atrito são leis empíricas formuladas por Amontons e Coulomb no século XVIII, como aponta (NUSSENZVEIG, 2002). O fenômeno além de ser complexo é fortemente dependente das superfícies em contato.

Essa força pode ser estimada a partir do produto entre o coeficiente de atrito entre a via e os pneus do veículo (μ) e a força de reação normal (\vec{N}) aplicada pela via sobre o veículo.

$$\vec{F}_{at} = \mu \cdot \vec{F}_N \quad (4)$$

Numa boa aproximação, em superfícies horizontais a força normal (\vec{F}_N), tem módulo igual a força peso do veículo (\vec{P}).

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g} \quad (5)$$

Na equação 5, (m) representa a massa do veículo e (\vec{g}) é aceleração da gravidade no local do acidente.

Pode-se notar que o coeficiente de atrito (μ) da equação 4 é um número puro, ou seja, sem dimensão, pois é representado pelo quociente das magnitudes de duas forças, conforme equação 6.

$$\mu = \frac{\vec{F}_{at} [N]}{\vec{F}_N [N]} \quad (6)$$

Notamos que no quociente acima, tanto o numerador quanto o denominador são forças e, portanto, suas dimensões são iguais, da simplificação destas unidades de medidas temos que o coeficiente de atrito é uma grandeza adimensional.

1.3.2 O coeficiente de atrito entre via e pneus

Há diversas formas de obter o valor do coeficiente de atrito utilizado na análise do problema, uma possibilidade é aproveitar valores tabelados ou fornecidos em bancos de dados de departamentos de trânsito locais (MEIRA, 2011).

Na atividade desenvolvida neste trabalho, foi utilizado um valor próximo da realidade, compatível com o valor do coeficiente de atrito do asfalto antigo e seco, para velocidade acima de 48 km.h^{-1} conforme a tabela abaixo.

Tabela 1 - Coeficientes de atrito

Tipo de Pavimento		Pista Seca				Pista Molhada			
		Menos de 48 km/h		Mais de 48 km/h		Menos de 48 km/h		Mais de 48 km/h	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Cimento									
	Novo	0,80	1,20	0,70	1,00	0,50	0,80	0,40	0,75
	Antigo	0,60	0,80	0,60	0,75	0,45	0,70	0,45	0,65
Asfalto									
	Novo	0,80	1,20	0,65	1,00	0,50	0,80	0,45	0,75
	Antigo	0,60	0,80	0,55	0,70	0,45	0,70	0,40	0,65
Gelo		0,10	0,25	0,07	0,20	0,05	0,10	0,05	0,10
Neve		0,10	0,55	0,10	0,55	0,30	0,60	0,30	0,60

Fonte: Adaptado de (DUKKIPATI et al., 2008)

Numa situação em que a via está seca, sem qualquer tipo de lubrificação, o coeficiente de atrito (μ) independe do peso do veículo e das condições dos pneus, tais como pressão, padrão da banda de rodagem e profundidade, dependendo apenas da natureza da superfície dos pneus e da via (NUSSENZVEIG, 2002 p. 87).

1.3.3 Bloqueio das rodas na situação de frenagem e escorregamento

Numa parada de emergência, tendemos a utilizar fortemente os recursos de frenagem, no intuito de conseguir uma desaceleração brusca.

Em sistemas de freios convencionais, isto é, não ABS (*Anti-lock Braking System*), sigla em inglês para sistema antibloqueio das rodas do veículo numa situação de frenagem, as rodas são travadas e impedidas de girar com o acionamento dos freios, o veículo derrapa e como resultado a velocidade é reduzida, ocorrendo a popular desaceleração.

Numa eventual situação de bloqueio das rodas do veículo, passando da condição de rolamento para escorregamento puro, o que provoca uma redução no coeficiente de atrito e aumenta a distância de frenagem.

Além disso, o travamento das rodas dianteiras impede que o condutor manobre o veículo, enquanto o travamento das rodas traseiras compromete a estabilidade do veículo (DUKKIPATI et al., 2008).

Portanto, o objetivo dos sistemas de freio mais modernos (ABS), por exemplo, é permitir que o sistema opere com o maior rendimento possível, sem que haja travamento das rodas, basicamente o sistema opera monitorando a condição de escorregamento das rodas, aliviando a pressão do sistema de freio de forma a manter os pneus numa faixa ótima de escorregamento (DUKKIPATI, op. cit.).

1.3.4 Estimando a velocidade do veículo a partir das marcas de frenagem na via

As marcas de frenagem deixadas por veículos são vestígios importantes na determinação de valores de velocidade, a partir delas, isto é, da medição da extensão das marcas de frenagem encontradas em vias onde houve colisões, é possível fazer estimativas de velocidades mínimas de tráfego de veículos, tais estimativas envolvem conceitos básicos de cinemática e dinâmica, geralmente estudados ainda no ensino médio (NEGRINI NETO; KLEINUBING, 2009).

É importante salientar que o valor obtido trata-se de um valor mínimo, pois numa colisão, a velocidade de contato entre dois ou mais veículos é diferente de zero e, neste algoritmo, consideramos ainda o valor da velocidade do veículo no momento do início da derrapagem, isto é, neste ponto as rodas já foram travadas e já houve uma perda considerável de velocidade (FERREIRA; TESTONI, 2008; MEIRA, 2011).

Para esta análise consideramos as seguintes hipóteses:

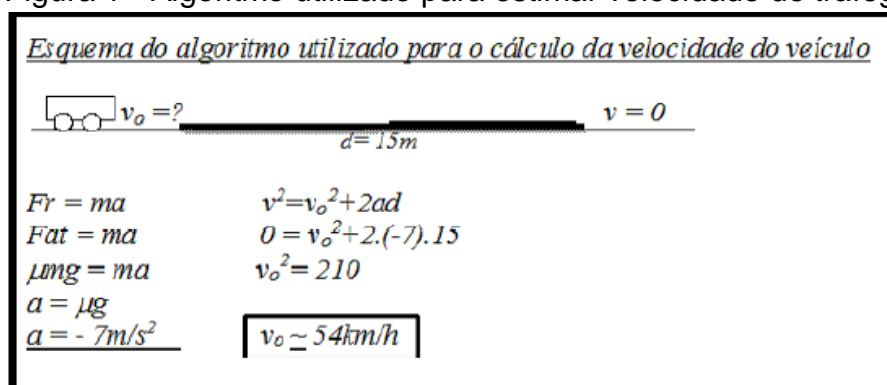
- a) a energia dissipada durante a etapa inicial de frenagem (antes da produção de vestígios) é desprezível;
- b) o comprimento da marca de frenagem deixada no pavimento corresponde a distância total de frenagem;
- c) o coeficiente de atrito entre os pneus e a via é constante durante todo processo de frenagem e igual para todas as rodas;

d) São desprezíveis as forças de arrasto aerodinâmico, resistência ao rolamento, bem como outros fatores dissipativos.

Para elucidar o recurso supracitado, apresentamos um exemplo em que as marcas de frenagem são utilizadas para determinação do valor mínimo da velocidade do veículo no momento do acionamento dos freios e travamento das rodas (SOUZA et al., 2015).

Tais conceitos de cinemática e dinâmica, estudados ainda no ensino médio, são amplamente utilizados em perícias (NEGRINI NETO op. cit.).

Figura 1 - Algoritmo utilizado para estimar velocidade de tráfego



Fonte: (SOUZA et al., 2015)

Nota-se nesse algoritmo que a única força responsável por parar o veículo é a força de atrito entre os pneus e a via, e que forças como a resistência do ar foram desconsideradas.

Para determinar o valor da aceleração do veículo durante o processo de frenagem foi utilizada a segunda lei de Newton e o valor do coeficiente de atrito adotado foi 0,7.

No algoritmo da figura 1, a única força externa responsável por parar o veículo é a força de atrito entre os pneus e a via.

A partir dos cálculos apresentados acima, nota-se que o valor obtido para a aceleração foi de $7m.s^{-2}$, mas como a aceleração está reduzindo o módulo da velocidade, consideramos, então, este valor negativo.

Após a determinação do valor da aceleração do veículo, considerada constante, neste caso, podemos então notar no algoritmo a determinação da

velocidade mínima do veículo a partir da equação de Torricelli que apresentaremos a seguir.

Partindo da equação 1, temos:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$$

$$a = \frac{V_f - V_i}{t}$$

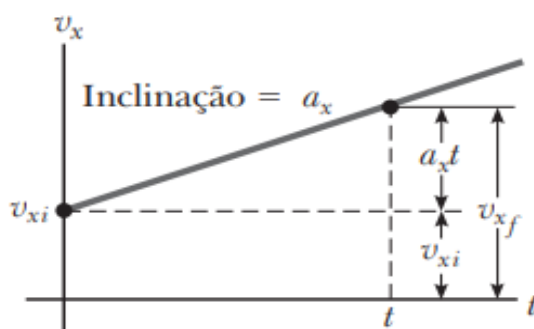
Na equação acima consideramos apenas o módulo do vetor aceleração e por conveniência adotamos o tempo inicial como zero. Em termos de V_f , temos:

$$V_f = V_i + at \quad (7)$$

A equação 7 nos permite encontrar a velocidade de uma partícula com aceleração constante em qualquer instante de tempo, quando o valor da velocidade inicial e da aceleração são conhecidos.

Uma representação gráfica da equação anterior é uma linha reta, cuja inclinação corresponde à aceleração da partícula, conforme figura abaixo.

Figura 2 - Gráfico da velocidade em função do tempo para o movimento de uma partícula com aceleração constante



Fonte: (JEWETT, Jr.; SERWAY, 2011)

Considerando que a área sob a curva de um gráfico da velocidade em função do tempo corresponde ao deslocamento da partícula (JEWETT, Jr.; SERWAY, 2011), podemos encontrar outra equação para um movimento com aceleração constante.

$$\Delta x = V_i \cdot \Delta t + \frac{(V_f - V_i) \cdot \Delta t}{2} \quad (8)$$

Dividindo a área sob a curva em um retângulo e um triângulo, o primeiro termo depois do sinal de igual corresponde a área do retângulo e o restante a área do triângulo.

Expandindo equação acima e considerando o tempo inicial (t_i) igual a zero, temos:

$$\Delta x = V_i \cdot (t - t_i) + \frac{(V_f - V_i) \cdot (t - t_i)}{2}$$

$$\Delta x = V_i \cdot t + \frac{(V_f - V_i) \cdot t}{2}$$

$$\Delta x = V_i \cdot t + \frac{(V_f \cdot t - V_i \cdot t)}{2} \quad (9)$$

Substituindo a equação 7 na equação 9, temos:

$$\Delta x = V_i \cdot t + \frac{(V_i) \cdot t + (a \cdot t) \cdot t - V_i t}{2}$$

$$\Delta x = V_i \cdot t + \frac{at^2}{2} \quad (10)$$

A equação 10 também é válida no estudo do movimento de partículas como aceleração constante.

Por fim, isolando-se a variável (t) na equação 7 e substituindo a expressão obtida na equação 10, podemos encontrar a relação utilizada para estimar a velocidade mínima do veículo descrita no algoritmo.

$$t = \frac{V - V_i}{a}$$

$$\Delta x = V_i \cdot t + \frac{at^2}{2}$$

$$\Delta x = V_i \cdot \frac{V - V_i}{a} + \frac{a \left(\frac{V - V_i}{a} \right)^2}{2}$$

$$V^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x \quad (11)$$

1.4 A CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO NO ACIDENTE

Uma das questões centrais da proposta em tela, é como aconteceu o acidente. Para responder a esta questão e elucidar o caso, os alunos deveriam buscar e cruzar informações para chegar ao culpado.

A resposta deste questionamento passa por uma análise do movimento dos veículos antes da colisão, para determinar, por exemplo, a trajetória de cada um antes do choque.

Para entender como aconteceu o acidente, é necessário recorrer a uma lei de conservação, a conservação da quantidade de movimento ou momento linear, que é bastante útil para tratar situações de colisão entre veículos.

O conceito quantidade de movimento de um corpo está diretamente associado a sua velocidade, mas apenas a velocidade de um corpo não pode descrever completamente a natureza de seu movimento, como podemos notar no exemplo mencionado por (JEWETT, Jr.; SERWAY, 2011).

Como ilustração imagine que dois corpos estejam em movimento em direção a você cada um com uma velocidade de 2m.s^{-1} . Um corpo é uma bola de pingue-pongue e o outro um grande caminhão. [...] Ambos viajam com a mesma velocidade escalar, mas alguma coisa sobre o caminhão representa uma medida maior de movimento. Podemos utilizar a noção de momento para descrever a diferença entre esses dois corpos em movimento. O **momento linear** de um corpo de massa m em movimento com uma velocidade v é definido como o produto da massa pela velocidade (SERWAY; JEWETT, Jr, 2011, p. 245 e 246) (grifo dos autores).

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (12)$$

O momento linear é uma grandeza vetorial que tem a mesma direção e sentido do vetor velocidade do corpo. No sistema internacional de unidade (S.I.) o momento linear tem as unidades $kg \cdot m \cdot s^{-1}$.

O princípio de conservação da quantidade de movimento ou momento linear é uma ferramenta extremamente útil para analisar acidentes de trânsito envolvendo colisões, pois seu caráter vetorial possibilita, dentre outras coisas, a determinação da trajetória dos veículos antes de uma colisão.

Isto acontece porque a quantidade de movimento total do sistema é conservada quando o sistema é isolado, ou seja, quando não há uma força resultante externa agindo sobre o sistema. Um bom exemplo da aplicação deste conceito, envolvendo colisões múltiplas de corpos em movimento em duas dimensões, é o jogo de bilhar, por ser familiar ao público em geral (JEWETT, Jr.; SERWAY, 2011).

A atividade investigativa representada no croqui também envolve uma colisão bidimensional, por isso concentramos nossa atenção nas colisões bidimensionais.

Ainda segundo Jewett Jr. e Serway (2011), obtemos para tais colisões duas equações com as componentes (x) e (y), para a conservação da quantidade de movimento total:

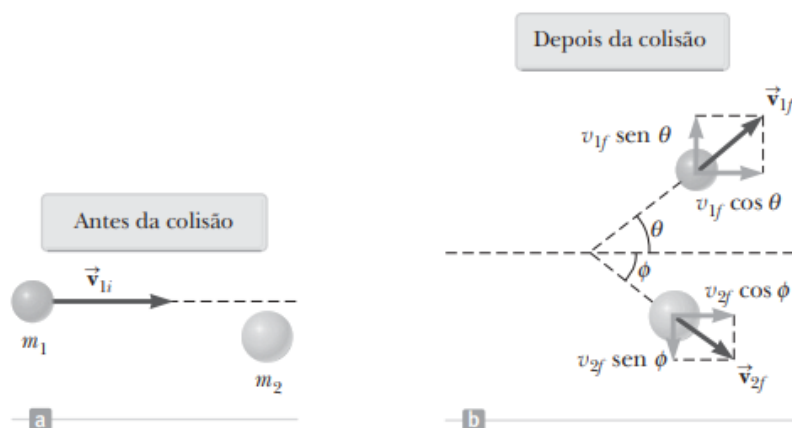
$$m_1 V_{1ix} + m_2 V_{2ix} = m_1 V_{1fx} + m_2 V_{2fx} \quad (13)$$

$$m_1 V_{1iy} + m_2 V_{2iy} = m_1 V_{1fy} + m_2 V_{2fy} \quad (14)$$

Nessas equações os autores utilizam três subscritos, representando, respectivamente, (1) a identificação do corpo, (2) valores iniciais e finais, (3) a componente da velocidade.

A representação de uma colisão bidimensional é apresentada na figura abaixo:

Figura 3 - colisão oblíqua elástica entre duas partículas



Fonte: (JEWETT, Jr.; SERWAY, 2011)

No trabalho em tela, exploramos o caráter vetorial da conservação da quantidade de movimento para determinar a trajetória dos veículos envolvidos no acidente, sendo assim este conceito é útil para reconstrução da dinâmica do acidente a partir dos dados disponíveis para análise.

A conservação da quantidade de movimento também pode ser empregada no estudo de balística para reconstrução da dinâmica de crimes envolvendo disparos de armas de fogo.

1.5 A DIMENSÃO ARGUMENTATIVA E A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM

Pretendemos, neste momento, discutir a dimensão argumentativa envolvida no processo de ensino e aprendizagem de conceitos de física em sala de aula. Os pontos norteadores desta seção são os indicadores de alfabetização científica propostos por Sasseron (2008) e o padrão de Stephen Toulmin utilizado em análises de processos argumentativos.

São muitos os tipos possíveis de linguagem utilizados para comunicação, mas, nesta pesquisa, destacamos a dimensão verbal, que foi o nosso principal objeto de análise, com foco nos processos argumentativos em sala de aula, expondo os limites e possibilidades da argumentação enquanto estratégia

didática para iniciar o processo de alfabetização científica dos alunos, bem como para promover a aprendizagem de conceitos de física.

1.5.1 O conhecimento científico escolar

Para Villani (2003), o conhecimento científico escolar é fruto de um complexo processo de transposição do conhecimento científico incorporado nos manuais universitários para o ensino de ciências. Nesse contexto, ainda segundo o autor, não há uma perfeita correspondência entre o conhecimento científico produzido pelos cientistas e o conhecimento científico ensinado em sala de aula.

Faz-se necessário então, apresentar o que de fato entendemos por ensino e aprendizagem de ciências.

Na literatura podemos encontrar diversos autores que se debruçaram sobre essa questão no intuito de estabelecer suas delimitações, podemos, por exemplo, mencionar Driver et al. (1994), que destacam o processo de ensino e aprendizagem como um processo de *“enculturação”*, isto é, o ensino de ciências, nesta perspectiva é visto como um processo de apropriação de uma cultura.

Para Lemke (1997), aprender ciência é se apropriar de um discurso, o científico, ou seja, conhecer como os termos se relacionam entre si para produzir significado.

Por conhecimento científico entendemos as leis, teorias e princípios organizados numa grande estrutura, composto por palavras e significados específicos, bem como uma linguagem que possibilita o fazer e o ensinar ciências (VILLANI, 2003).

Nesta perspectiva, Villani (op. cit.), aponta ainda que a linguagem é mais do que apenas um registro do pensamento científico, por possuir uma estrutura particular, com características específicas indissociável do próprio conhecimento científico.

Tendo em vista os argumentos supracitados, o domínio da linguagem científica torna-se uma competência essencial não apenas para sua prática,

mas também para seu aprendizado, ou seja, para que os alunos possam aprender ciências é necessário que eles conheçam os elementos que a compõem e consigam relacionar estes elementos de forma a produzir significado dentro de uma estrutura maior que organiza o conhecimento científico escolar.

Em nossa pesquisa, destacamos o papel que a linguagem verbal desempenha no processo de alfabetização científica, tratando especificamente da dimensão argumentativa no processo de apropriação de conceitos científicos escolares.

Pesquisas em educação têm revelado a importante contribuição das investigações que levam em consideração a dimensão argumentativa nos processos de ensino e aprendizagem de conhecimentos científicos (VILLANI, 2003) e são muitos os trabalhos da didática da ciência que se propõem a investigar a argumentação em sala de aula.

Dentro dessa linha de pesquisa, são três os principais eixos que norteiam os trabalhos desta natureza: precisão na definição de uma situação e/ou conceito (LEMKE, 1997); o acréscimo de coesão no discurso para compreensão do que se expõe (JIMÉNEZ ALEIXANDRE; BUGALLO RODRÍGUEZ; DUSCHL, 2000); a organização do raciocínio na construção ou reconstrução das ideias (CAPECCHI; CARVALHO, 2000).

Para Jiménez Aleixandre et al. (2000), o pensamento científico trata-se de um processo de tomada de decisão, em que se recorre a processos argumentativos para justificar um posicionamento.

Nestes processos, a argumentação é vista como uma estratégia de raciocínio em que dados, evidências e saberes anteriores são articulados em função de um objetivo maior e, assim como no âmbito científico, fundamentam as bases do processo de ensino e aprendizagem.

Quando nós colocamos a capacidade de desenvolver um argumento como um objetivo, significa um interesse não somente na resolução de problemas de ciências pelos alunos (nível cognitivo ou estratégico), mas também implica dar atenção aos critérios que conduzem a uma ou outra solução, ao porquê algumas soluções terem sido descartadas, como este processo de comparação é compreendido, quais analogias ou metáforas levaram a este

entendimento (nível epistemológico), bem como no acompanhamento dos alunos em sua própria aprendizagem (nível metacognitivo) (JIMÉNEZ ALEIXANDRE; BUGALLO RODRÍGUEZ; DUSCHL, 2000, p.762).

Para Van Manem (1990), a argumentação possui grande potencial em promover a aprendizagem, de acordo com o autor, a prática argumentativa é capaz de:

1. Viabilizar condições para que os alunos vivenciem a ciência normal¹;
2. Tornar o pensamento discente mais visível, facilitando o processo avaliativo;
3. Desenvolver múltiplas formas de pensar;
4. Favorecer a participação ativa dos alunos em seu processo de aprendizagem;

Entendemos argumentação como todo e qualquer discurso em que o aluno ou professor apresentam suas opiniões sobre uma problemática levantada, descrevendo ideias, formulando hipóteses e apresentando evidências para justificar ações ou conclusões a que tenham chegado, explicando resultados alcançados (SASSERON; CARVALHO, 2011).

1.5.2 A alfabetização científica e a formação do indivíduo

Não esperamos, a partir deste trabalho, tornar os nossos alunos cientistas. Estamos, no entanto, preocupados com sua formação cidadã no que se refere a aprendizagem de conceitos relacionados às ciências naturais.

Para isso, consideramos importante inserir o aluno num determinado grupo ou comunidade, em que se exige a apropriação de uma linguagem específica, no caso a linguagem científica.

Este processo de apropriação e domínio da linguagem científica é conhecido na literatura como alfabetização científica, e se refere ao

¹ O Autor define ciência normal no sentido Kuhniano como aquela desenvolvida nos espaços como universidades, empresas e institutos de pesquisa.

desenvolvimento da capacidade de ler, escrever e se posicionar sobre assuntos relacionados às ciências.

Sendo assim, o aluno alfabetizado cientificamente é capaz, não apenas de ler e escrever sobre ciência, mas também de articular ideias para fazer julgamentos e tomar decisões relacionadas a temáticas científicas (SASSERON, 2011).

Para Sasseron (2008), a formação em ciências deve ser conduzida de tal forma que os alunos possam interagir com as ciências e suas tecnologias, mesmo que tais assuntos não venham a ser estudados de maneira mais profunda e sistemática pelos estudantes em outros momentos de sua formação em ambientes de ensino formais².

Entretanto, não acreditamos que seja possível alfabetizar cientificamente nossos alunos ao final da escola básica, tão pouco esperamos alfabetizá-los cientificamente com apenas o trabalho em apreciação, mas acreditamos, assim como os autores, Lorenzetti e Delizoicov (2001) que o trabalho pode e deve ser iniciado o quanto antes. Os autores defendem o início do processo de alfabetização científica ainda nos anos iniciais do ensino fundamental.

Para Sasseron (2008), o processo de alfabetização científica está em constante mudança, assim como a própria ciência, e uma vez que novos conhecimentos e tecnologias são agregados ao conhecimento científico, surge a necessidade de um processo e acomodação por parte do aluno, o que torna dinâmico e contínuo o processo de alfabetização científica.

Mas o que de fato esperamos de um aluno alfabetizado cientificamente? Quais são as habilidades e destrezas que traduzem um indivíduo alfabetizado cientificamente?

O primeiro autor mencionado a utilizar o termo *Scientific Literacy*, Paul Hurd aponta as habilidades necessárias para considerar uma pessoa alfabetizada cientificamente e, portanto, capaz de interagir com os conhecimentos e informações sobre ciência, presentes em nosso contexto social e histórico.

² Consideramos ambientes formais de educação aqueles com estrutura organizada, hierarquizada e dirigida sob normas rígidas ligadas a um sistema educacional voltado à escola (GASPAR, 1992).

O autor considera que um indivíduo alfabetizado cientificamente é capaz de:

“Distingue especialistas dos desinformados.

Distingue teoria de dogma, e dados de mito e folclore.

Reconhece que quase todo fato da vida de alguém tem sido influenciado, de alguma maneira, pelas ciências e tecnologias.

Sabe que as ciências em contextos sociais têm dimensões política, judicial, ética e, às vezes, interpretações morais.

Entende os modos pelos quais a pesquisa científica é feita e como os resultados são validados.

Usa o conhecimento científico em circunstâncias apropriadas tomando decisões para sua vida e da sociedade, fazendo julgamentos, resolvendo problemas e agindo.

Distingue ciência de pseudociência como astrologia, charlatanismo, o oculto e superstições.

Reconhece a natureza cumulativa da ciência como uma “fronteira sem fim”.

Reconhece os pesquisadores das ciências como produtores de conhecimento e os cidadãos como usuários do conhecimento científico.

Reconhece lacunas, riscos, limites e probabilidades na tomada de decisões envolvendo um conhecimento da ciência ou tecnologia.

Sabe como analisar e processar informação para gerar conhecimento que se estende além dos fatos.

Reconhece que conceitos, leis e teorias científicas não são rígidas, mas essencialmente tem uma qualidade orgânica; elas crescem e se desenvolvem; o que é ensinado hoje pode não ter o mesmo significado amanhã.

Sabe que os problemas científicos em contextos pessoal e social podem ter mais que uma resposta “certa”, especialmente problemas que envolvem ações éticas, judiciais e políticas.

Reconhece quando a relação causa e efeito não pode ser construída.

Entende a importância da pesquisa por si própria como um produto da curiosidade do cientista.

Reconhece que a economia global é amplamente influenciada pelos avanços nas ciências e tecnologias.

Reconhece quando fins culturais, éticos e morais estão envolvidos na resolução de problemas que unem ciência e sociedade.

Reconhece quando alguém não tem dados suficientes para tomar uma decisão racional ou formar um julgamento confiável.

Distingue evidência de propaganda, fato de ficção, consciência de absurdo e conhecimento de opinião.

Vê problemas envolvendo ciência-social e pessoal-cívico como exigência de uma síntese de conhecimentos de diferentes campos, incluindo ciências naturais e sociais.

Reconhece que ainda há muitas coisas desconhecidas no campo científico e que descobertas mais significantes podem ser anunciadas amanhã.

Reconhece que a Alfabetização Científica é um processo de adquirir, analisar, sintetizar, codificar, avaliar e utilizar progressos em ciência e tecnologia nos contextos social e humano.

Reconhece as relações simbióticas entre ciência e tecnologia e entre ciência, tecnologia e as ações humanas.

Reconhece que os caminhos da ciência e tecnologia do cotidiano auxiliam a capacidade adaptativa do ser humano e enriquece o capital.

Reconhece que os problemas envolvendo ciência e sociedade são geralmente resolvidos por ações colaborativas ao invés de ações individuais.

Reconhece que a solução imediata de um problema envolvendo ciência e sociedade pode criar um problema associado mais tarde. Reconhece que soluções de curto e longo prazo podem não ter a mesma resposta". (p.413-414, ênfase no original, tradução de SASSERON, 2008)

Segundo Hurd estas habilidades não são ensinadas diretamente, mas são desenvolvidas a partir de atividades em que os alunos tenham a oportunidade de pensar e resolver problemas, investigando e desenvolvendo projetos de pesquisa.

As habilidades e destrezas são o nosso ponto de partida para estruturar uma proposta que se proponha a iniciar o processo de alfabetização científica ainda no ensino fundamental, mesmo que nos anos finais.

Para isso, tomamos como base os eixos estruturantes da alfabetização científica propostos por Sasseron (2008), que em resumo, apresentam uma síntese das habilidades e destrezas propostas por Paul Hurd para classificar um indivíduo como alfabetizado cientificamente.

1. compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais;
2. compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática;
3. compreender as relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

O primeiro eixo se refere à possibilidade de trabalhar com os alunos a construção de conhecimentos científicos, traçando as relações entre tais conhecimentos e o cotidiano do estudante, estimulando a visualização e a aplicação dos conceitos em situações diversas.

O segundo eixo reporta-se a ideia de romper com a visão de ciência como algo pronto e acabado, apresentando ao aluno a ciência como um conjunto de conhecimentos em constante mudança por meio de pesquisas, análise de dados e discussão dos resultados que culminam nos saberes. Este eixo possibilita a visão do caráter humano da investigação científica, favorecendo a noção da reflexão para tomada de decisão a partir da tomada de conhecimento de uma nova informação.

O terceiro e último eixo busca mostrar ao aluno que ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente não estão dissociados e que a sociedade influencia a ciência e esta por sua vez reflete a sociedade, permitindo, por exemplo, discussões sobre as consequências de nossas ações sobre o meio ambiente no que tange ao conhecimento científico.

Para Sasseron (op. cit.), os três eixos devem ser capazes de iniciar o processo de alfabetização científica, por favorecerem discussões que envolvam ciência, sociedade e meio ambiente.

É preciso, no entanto, encontrar indícios desse processo em sala de aula, para isso autora propõe os chamados indicadores de alfabetização científica (AC), que buscam identificar o desenvolvimento das habilidades necessárias para que o aluno seja considerado alfabetizado cientificamente.

No quadro abaixo constam os indicadores propostos por Sasseron (2008), para evidenciar o início do processo de alfabetização científica.

Quadro 1 - Descrição dos indicadores de Alfabetização Científica

INDICADOR	DESCRIÇÃO DO INDICADOR
Seriação de informações	Estabelecimento de bases para investigação, sem prever necessariamente uma ordem para organizar as informações. Este indicador faz referencia ao plano de ação adotado pelo aluno para determinar como será realizado o processo.
Organização de informações	Preparo dos dados disponíveis sobre o problema investigado e inserção de informações novas, pode ocorrer no início do processo ou durante a retomada.
Classificação de informações	Atribuição de características aos dados disponíveis para investigação. Este indicador faz referência a ordenação dos elementos com os quais se esta trabalhando.
Levantamento de hipóteses	Ilustra momentos em que suposições sobre o problema investigado são propostas. Pode surgir na forma de afirmação ou pergunta como é comum no meio científico.
Teste de hipóteses	Momento em que as suposições propostas anteriormente são colocadas a prova, pode ocorrer por meio da

	manipulação direta de objetos ou no nível das ideias, quando o teste é feito com base em conhecimentos prévios.
Justificativa	Surge quando o indivíduo utiliza uma garantia para afirmar ou refutar um ponto de vista, isso pode tornar a afirmação mais segura.
Previsão	Associação de ações e/ou fenômenos a determinados acontecimentos.
Explicação	Surge no momento da busca por relações entre os dados (informações) disponíveis e as hipóteses levantadas, podendo ser acompanhadas de previsões, mas esta garantia não é uma regra para as explicações.

Fonte: Adaptado de Sasseron, 2008

Os três últimos indicadores estão totalmente interligados, pois a completa interpretação de um problema ocorre quando as afirmações construídas mostram as relações existentes entre justificativa, previsão e explicação. A partir desta ideia podemos então pensar em processos de generalização tornando possível estabelecer padrões que podem ser estendidos para outros casos.

Podemos ainda organizar os indicadores apresentados em dois grandes grupos, chamados pela autora de raciocínio lógico e raciocínio proporcional. O primeiro refere-se ao modo como as ideias são organizadas e apresentadas, e o segundo, por sua vez, busca mostrar como se organiza a estruturação do pensamento, além de evidenciar como os indicadores ou etapas do processo relacionam-se entre si.

Tendo em vista todas pesquisas e estudos aqui mencionados, partiremos, agora, para as características da pesquisa realizada, apresentando também os dados coletados e sua análise.

1.5.3 A construção dos argumentos em sala de aula

São muitas as possibilidades para o surgimento de interações discursivas no ambiente escolar, tais como: durante a exposição oral de uma ideia, pelo professor ou pelos alunos, em uma atividade escrita ou a partir da análise de gráficos e imagens (SASSERON; CARVALHO, op. cit).

Para Lemke (1997), as interações discursivas explicitam o raciocínio do aluno e, o diálogo científico fica cada vez mais coeso e complexo à medida que novos elementos são inseridos na fala.

O autor da ênfase à importância de se estabelecer relações entre as palavras, tecendo conexões entre elas e seus significados, o que representa a essência da argumentação, para construir afirmações no intuito de elucidar uma ideia ou posicionamento.

No que se refere à sala de aula e ao ensino de ciências, o processo argumentativo segundo Jiménez Aleixandre e Díaz Bustamante (2003) é encarado como uma oportunidade do aluno “fazer ciências”, testar suas ideias e formular hipóteses para solução de um problema.

Com base nos argumentos anteriores, entendemos que a argumentação é uma estratégia capaz de mobilizar concepções espontâneas para formulação de hipóteses, baseando-se em dados e evidências, buscando a solução para um problema e, a partir do ganho de consistência de um argumento, podemos encontrar indícios de evolução no processo de “*enculturação*” científica do aluno por meio da apropriação de conceitos científicos.

Tendo em vista a complexidade do processo argumentativo e sua relevância para o processo de aprendizagem de conceitos científicos, apresentaremos, a seguir, o referencial teórico adotado nesta pesquisa para analisar falas de alunos em aulas de ciências e identificar possíveis evoluções no processo argumentativo destes alunos à luz de um padrão pré-estabelecido.

1.6 O PADRÃO PARA ANÁLISE DE ESTRUTURAS ARGUMENTATIVAS PROPOSTO POR STEPHEN TOULMIN

Em seu livro “O uso dos argumentos” (publicado originalmente em 1958) Stephen Toulmin preocupou-se em estabelecer uma interpretação estrutural a respeito da argumentação para compreender como se dá o estabelecimento de conclusões a partir de dados e justificativas em processos argumentativos (TOULMIN, 2006).

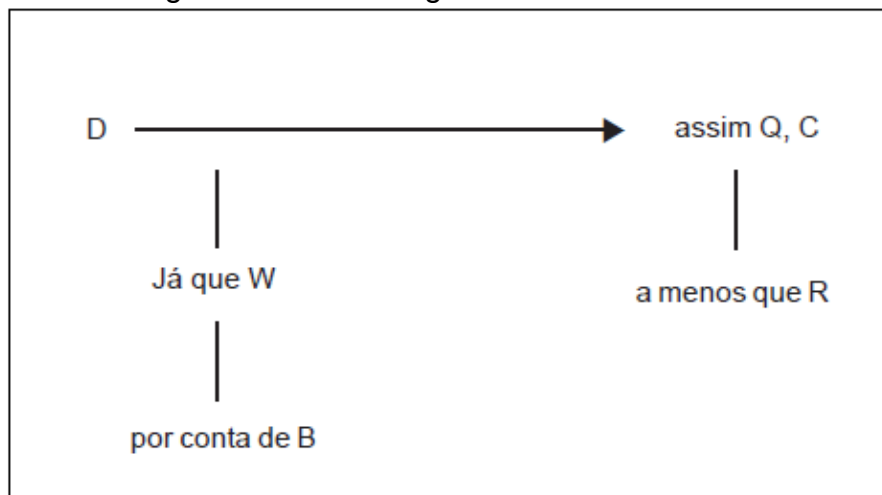
Segundo o autor nosso cotidiano é permeado por argumentações, nas mais diversas situações tanto nas cotidianas como em momentos de tomada de decisões. Para compreender os mecanismos envolvidos em processos argumentativos Toulmin sugere, a partir de um tratamento prescritivo, um padrão de análise que, apesar de inicialmente não ter sido pensado para o contexto educacional, pesquisas indicam que seus pressupostos podem ser transpostos para essa finalidade, e este padrão foi utilizado por diversos autores da área do ensino de ciências, sendo adaptado de acordo com cada contexto (CAPECCHI & CARVALHO, 2000).

O modelo de Toulmin é uma ferramenta poderosa para identificar a estrutura de argumentos científicos. Este modelo pode mostrar o papel das evidências na elaboração de afirmações, relacionando dados e conclusões através de justificativas de caráter hipotético. Também pode realçar as limitações de uma dada teoria, bem como sua sustentação em outras teorias. O uso de qualificadores modais ou de refutações pode indicar uma compreensão clara do papel dos modelos na ciência e a capacidade de ponderar diante de diferentes teorias a partir das evidências apresentadas por cada uma delas. (Capecchi & Carvalho, 2000).

Para compreender esta questão, Toulmin apresenta os elementos estruturantes de um processo argumentativo e os relaciona entre si. De acordo com o autor, os elementos que constituem a estrutura do argumento são: O dado (D), a conclusão (C), a garantia (W), os qualificadores modais (Q), a refutação (R) e o conhecimento básico (B).

A estrutura completa de um processo argumentativo em que todos os elementos estão presentes pode ser observada na figura abaixo.

Figura 4 - Padrão argumentativo de Toulmin



Fonte: (TOULMIN, 2006)

No entanto a estrutura completa pode apresentar apenas os três primeiros elementos estruturantes da argumentação, sendo assim a estrutura completa ficaria da seguinte forma: de posse de (D), já que (W), então (C).

Se uma dada justificativa (W) não é válida ou não é suficiente para dar sustentação à conclusão final, nestes casos o elemento refutação (R) pode aparecer na estrutura da argumentação.

Se houver a necessidade de completar o argumento para qualificar a conclusão, outro elemento pode ser adicionado à estrutura, o qualificador modal (Q) que fornece uma referencia do grau de força, entre dados e conclusões, explicitando o quão sólido o argumento é. Desta forma, os qualificadores modais e a refutação conduzem os limites de ligação entre dados e conclusões.

Por fim temos o conhecimento básico (B) que pode ter diversas origens, na sala de aula, por exemplo, pode ter origem no livro didático, numa fala do professor ou até mesmo ser elaborado pelo próprio aluno. A justificativa tem caráter hipotético e pode apoiar-se num dado teórico para sustentar um argumento.

Capecchi & Carvalho (2004), ao explorar as potencialidades do padrão enquanto ferramenta para analisar o pensamento científico expõem algumas possibilidades, são elas:

1. Relaciona dados e conclusões mediante leis de passagem de caráter hipotético;
2. Mostra assim o papel das evidências na elaboração de afirmações;
3. Realça as limitações de dada teoria;
4. Realça a sustentação de dada teoria em outras teorias;
5. Os qualificadores e refutações indicam a capacidade de ponderar diante de diferentes teorias com base na evidência apresentada por cada uma delas e;
6. Ajuda a relacionar características do discurso com aspectos da argumentação científica.

Toulmin (2006) reconhece o padrão como algo normativo para avaliar a solidez de um argumento a partir de elementos chaves que compõem sua estrutura. Desta forma, entendemos o enquadramento dos argumentos no padrão como um indicador de solidez da estrutura argumentativa, uma vez que cada elemento cumpra seu papel e se relacionem entre si no formato proposto.

O enquadramento dos argumentos no padrão expressa coerência e quanto maior a quantidade de elementos lógicos presentes no argumento, maior será seu nível de complexidade.

Julgamos necessário expor também algumas limitações do padrão de análise argumentativa proposto por Stephen Toulmin que devem ser consideradas na análise das falas de alunos em contextos escolares.

Driver et al. (2000) apontam que o contexto em que os argumentos são construídos não é considerado e nem sempre os argumentos aparecem de forma ordenada como indicado no padrão. A limitação que acreditamos ser a mais marcante é o fato do padrão só contemplar as falas, deixando de lado elementos como os gestos feitos durante ao longo do processo.

Mesmo tendo ciência das limitações do padrão, decidimos utilizá-lo como ferramenta de análise dos dados obtidos em sala de aula, pois tem se mostrado eficiente em diversas pesquisas que se debruçaram sobre a questão da argumentação, e que, sobretudo, olharam para questões semelhantes às

nossas (DRIVER et al., 2000; CAPECCHI & CARVALHO, 2000; VILLANI & NASCIMENTO, 2003).

A utilização do padrão de análise apresentado se justifica por alguns motivos, primeiro porque o enquadramento dos argumentos no padrão permite melhor compreensão sobre sua estrutura como um todo, e o enquadramento, por sua vez, já é um indicador de existência de uma estrutura mínima de relação entre dado e conclusão.

Por fim, estrutura do padrão favorece a exploração dos pormenores dos argumentos enquadrados o que contribui para evidenciar evoluções no processo argumentativo dos alunos (CAPPECHI & CARVALHO, 2000; 2004; VILLANI & NASCIMENTO, 2003).

Tendo em vista o relato acima, apresentaremos na sequência a proposta investigativa desenvolvida neste trabalho, as características da escola e dos participantes voluntários e demais informações referentes a pesquisa desenvolvida.

2 A PESQUISA

Este capítulo tem como finalidade apresentar a pesquisa de campo realizada, expondo os instrumentos metodológicos utilizados, bem como as características do público participante e o contexto escolar escolhido.

À luz dos referenciais teóricos já apresentados procuramos identificar indícios de ganho de aprendizagem, bem como identificar elementos que evidenciam o desenvolvimento do processo de alfabetização científica dos alunos.

A pesquisa desenvolvida neste trabalho foi submetida e aprovada junto ao Comitê de ética em pesquisa da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, o que pode ser confirmado a partir dos dados abaixo:

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.132.597

Apresentação do Projeto:

Nº CEP: 0385/2017 (*parecer final*)

2.1 OBJETIVOS E ASPECTOS GERAIS DA PROPOSTA

Conforme os pressupostos já discutidos em capítulos anteriores, iniciamos o trabalho de campo visando compreender o processo de evolução argumentativa dos alunos, a partir de uma proposta investigativa, utilizando elementos de física forense.

Neste trabalho, abordamos o conceito físico de quantidade de movimento, bem como as leis do movimento, popularmente conhecidas como leis de Newton. A escolha desse tema se deu por conta da relevância do tema no estudo da mecânica newtoniana, pela riqueza de detalhes que sua discussão pode propiciar e sua relevância no contexto científico.

A escolha do tema também se deu em função da faixa etária do público alvo, alunos do último ano do ensino fundamental, pois a mecânica newtoniana possibilita abordar elementos de física forense sem a necessidade de discutir questões mais delicadas como homicídios e suicídios, por exemplo.

Consideramos ainda a importância e a necessidade de introduzir conceitos de física ainda no ensino fundamental, tendo em vista que o tema mobilizado na proposta deste trabalho fica, na maioria das vezes, restrito à disciplina de física no ensino médio.

A pesquisa em apreciação apresenta o conteúdo de forma a tornar o aluno um investigador - “*O aluno perito*” – por meio de um hipotético acidente de trânsito. A atividade objetiva favorecer a participação ativa do aluno, ao torná-lo o investigador da proposta (BOYLE, 2012).

Depois de receberem os materiais da atividade, os alunos foram convidados a responder as questões feitas pelo professor - *juiz responsável pelo caso* – com o objetivo de fornecer argumentos científicos suficientes para elucidação do acidente.

Além do croqui e das questões, os alunos contaram ainda com carrinhos de brinquedo para analisar as colisões possíveis de terem acontecido com base na posição de imobilização dos veículos do croqui.

No primeiro momento da proposta, os alunos responderam a um questionário inicial, versando sobre o conceito de quantidade de movimento e leis de Newton, para identificação das concepções prévias acerca do tema que foi tratado na proposta.

No seguinte, foi a investigação da situação problema apresentada no croqui. Utilizando os materiais descritos acima, os alunos foram divididos em grupos de quatro a cinco pessoas, de forma a favorecer a investigação do problema e desencadear o processo argumentativo.

A seguir constam os detalhes da pesquisa.

2.1.1 A escolha da escola

A escola onde se deu a realização da pesquisa trata-se de uma instituição privada de médio porte, localizada na cidade de São Paulo. A escolha dessa instituição se deu devido ao autor desta pesquisa estar lecionando a disciplina de ciências/física na instituição supracitada, o que facilitou o acesso às dependências do colégio, bem como a aplicação da pesquisa.

Os participantes voluntários desta pesquisa foram alunos com idade de 14 anos, que, na ocasião, cursavam o último ano do ensino fundamental, atual nono ano. A escolha deste público se deu em função de, nesta faixa etária, os alunos ainda terem tido pouco ou nenhum contato formal com os conceitos de física utilizados na atividade, apresentando poucos conceitos prévios oriundo de propostas de ensino puramente tradicionais.

Um público de participantes com estas características possibilita a obtenção de dados mais precisos no tocante às concepções espontâneas dos alunos referentes aos conceitos abordados.

2.1.2 A proposta e os instrumentos utilizados

Buscando maior organização e clareza na apresentação dos procedimentos metodológicos para coleta e análise dos dados oriundos da aplicação da proposta, apresentamos a seguir os momentos/etapas do desenvolvimento pesquisa.

- Questionário inicial para identificação das concepções prévias dos alunos acerca dos temas mobilizados na atividade;
- Gravação em vídeos das aulas;
- Análise dos dados à luz dos referenciais adotados.

Abaixo, estão descritos, em um quadro esquemático, os instrumentos descritos acima, bem como suas funções e objetivos.

Quadro 2 - Resumo das etapas metodológicas de coleta e análise de dados

INSTRUMENTO	OBJETIVO	MOMENTO/ETAPA
Questionários	Identificar o conhecimento prévio dos alunos sobre os temas mobilizados na atividade.	Primeiro momento
Gravação em vídeo	Registro para transcrição dos	Segundo momento

	processos argumentativos dos alunos em sala de aula.	
Análise dos dados	Verificar o potencial da proposta enquanto ferramenta didática para o ensino de física.	Terceiro momento

Fonte: autoria própria

2.1.2.1 Questionário para identificação de concepções espontâneas

A física é uma ciência prática que está presente nas mais diversas situações do nosso cotidiano, sendo assim, a criança ou adolescente ao entrar numa aula de ciências/física traz, oriundo de sua experiência cotidiana, uma série de concepções prévias sobre o assunto abordado.

Um dos eixos teóricos dessa pesquisa leva em consideração a importância do conhecimento prévio do aluno, não se importando no primeiro momento em dizer se a concepção apresentada pelo discente está certa ou errada.

Propomos, no primeiro momento, o questionário inicial para identificar o conhecimento que o aluno possui referente aos temas abordados na proposta. O questionário é composto por perguntas dissertativas que foram pensadas de modo a deixar o estudante livre para refletir e expor suas ideias. O objetivo desta etapa foi mapear o conhecimento dos alunos para posterior análise.

Segue abaixo o questionário utilizado com os alunos, bem como o que se pretende obter a partir de cada questão.

Quadro 3 - Questionário inicial

Nome: _____ Idade: _____ data: ____ / ____ / ____

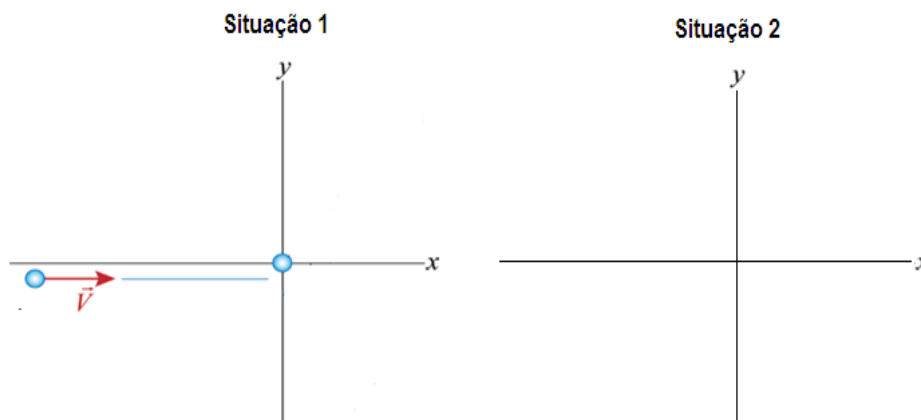
QUESTIONÁRIO INICIAL

1.

a) Um ônibus lotado para num ponto, onde embarcam passageiros. De repente, o motorista arranca. Qual a sensação dos passageiros? Explique sua resposta.

b) Considere que o mesmo ônibus esteja se movendo com velocidade de 80 km/h, de repente o motorista pisa no freio e para o veículo em um curto período de tempo. Qual a sensação dos passageiros dentro do veículo? Explique sua resposta.

2. Na **situação 1** temos duas bolinhas iguais, a primeira está parada e segunda se move em direção a primeira.




Considerando que a bolinha que estava se movendo se chocou contra a que estava parada, desenhe ao lado, na situação 2, uma possível representação das bolinhas após esta colisão. Justifique sua resposta.

3. Na **situação 1**, Pedrinho atira a bolinha (A) contra a bolinha (B), as duas bolinhas são iguais em dimensões como representado na figura, mas a bolinha (A) é feita de plástico e a (B) de ferro.



Na **situação 2**, Pedrinho está observando as bolinhas após a colisão.

Como você acha que estariam se movendo as bolinhas que Pedrinho está observando? Faça o desenho na situação abaixo e justifique sua resposta.



depois da colisão

Situação 2

4. Na **figura 1** temos cinco bolinhas iguais (em dimensão e massa), em um dado momento três dessas bolinhas colidem com as outras duas que estavam paradas. O que aconteceria com as cinco bolinhas após a colisão? Utilize a **figura 2** e represente as bolinhas após ocorrer a colisão. Explique sua resposta.

Figura 1

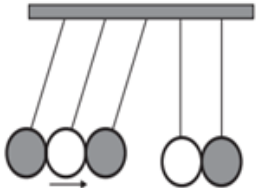



Figura 2



Fonte: autoria própria

A primeira questão aborda um conceito clássico, a partir de uma situação do dia a dia, o contexto descrito menciona um ônibus, mas também pode ser pensada dentro de um carro, trem, motocicleta ou qualquer outro veículo.

A pergunta, realizada de forma aberta, objetiva conseguir um amplo espectro de concepções sobre o princípio da inércia. Acreditamos que a questão, quando desta forma, possibilita maior riqueza de detalhes para análise e deixa o aluno à vontade para expor o que pensa, sem se preocupar em utilizar termos científicos para responder à questão.

A segunda questão objetiva investigar o pensamento dos alunos acerca do caráter vetorial da conservação da quantidade de movimento. Espera-se que o aluno expresse seus conhecimentos sobre o tema em formato de desenho, ilustrando trajetórias das bolinhas após a situação de colisão descrita na questão.

A terceira questão apresenta uma situação de colisão entre duas bolinhas com as mesmas dimensões e massas diferentes. Optamos por não indicar os valores das massas de cada bolinha em termos numéricos, deixando subentendida a diferença nos valores ao mencionar o material que constitui cada uma delas.

Acreditamos que isso favorece o resgate do conhecimento do dia a dia, adquirido a partir da vivência do aluno no mundo real, em ambiente formal ou não, de educação. Prende-se identificar o que ele imagina que aconteceria na colisão representada.

Com a quarta questão, mais complexa que as anteriores, objetivou-se identificar as concepções dos alunos a respeito da conservação da quantidade de movimento.

Na situação, três bolinhas colidem contra outras duas que, inicialmente, estavam em repouso. Espera-se que os alunos representem a disposição das cinco bolinhas após o choque, isto é, o que eles imaginam que aconteceria com as cinco bolinhas logo após a colisão.

2.1.2.2 As questões norteadoras e a atividade utilizada

O esquema de acidente de trânsito representado no croqui foi elaborado previamente pelo autor deste trabalho em conjunto com o grupo de pesquisa do setor de educação em ciências da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP.

O esquema consiste, basicamente, de um hipotético acidente de trânsito que retrata a colisão entre dois veículos em um cruzamento. No esquema do acidente constam informações relevantes para a resolução do problema – *solução do caso* – tais como: marcas de frenagem na via, fragmentos de lanternas, posição de imobilização dos veículos e a indicação de velocidade máxima da via.

As questões norteadoras - *questões feitas pelo juiz responsável pelo caso* – acompanham o esquema do acidente e devem ser esclarecidas pelo perito responsável pelo caso, o aluno-perito.

A disposição dos veículos no esquema do acidente foi organizada de forma a favorecer discussões sobre as possíveis trajetórias dos veículos antes da colisão, podemos mencionar, por exemplo, que o veículo 1 trafegava pela rua Homero Thon antes do acidente, por conta das marcas de frenagem compatíveis com os pneus do veículo 1.

No entanto, a identificação da trajetória do veículo 2 antes da colisão não é determinada de forma tão imediata, exigindo dos alunos uma análise mais profunda, utilizando, por exemplo, conceitos relacionados a conservação da quantidade de movimento. O intuito é proporcionar discussões acerca do problema e estimular os alunos a buscarem e explicações científicas para reforçar ou refutar suas argumentações.

Além do croqui e das questões norteadoras, os alunos contaram ainda com carrinhos de brinquedo para simular as possíveis trajetórias dos veículos antes da colisão.

Figura 5 - Croqui e questões norteadoras

CROQUI ESQUEMÁTICO DE ACIDENTE DE TRÂNSITO – CRUZAMENTO DA RUA ONDINA COM A RUA HOMERO THON

Senhor Perito Criminal, para melhor elucidarmos o caso, necessitamos as seguintes informações **(todas devem ser justificadas a pedido dos advogados)**.

- 1) Qual é o limite de velocidade na rua Homero Thon?
- 2) Algum dos veículos invadiu a faixa de contramão? Justifique sua resposta.
- 3) Explique o movimento do veículo 1 mesmo após o "travamento" das rodas.
- 4) Como aconteceu o acidente?
- 5) Seria possível encontrar a velocidade que os veículos trafegavam no momento do acidente? Justifique.

Obrigado,
Juiz responsável pelo caso.

Fonte: autoria própria

Toda investigação é orientada a partir destas questões que foram pensadas de forma a favorecer discussões e debates sobre conceitos específicos de física, tais como conservação da quantidade de movimento e as leis do movimento.

2.1.3 A validação do material utilizado na pesquisa

A validação do material utilizado nesta pesquisa se deu, principalmente, a partir de dois instrumentos. O primeiro ocorreu no próprio grupo de pesquisa de ensino de ciências da Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, coordenado pelo professor orientador deste projeto. A partir de apresentações e discussões em grupo sobre este material, foi possível refletir sobre sua estrutura para adequar ao público alvo da pesquisa.

O segundo e principal método de validação utilizado, foi o próprio ambiente de sala de aula, com alunos do ensino fundamental e ensino médio.

Como resultados destas aplicações foram publicados, pelo autor desta pesquisa, dois trabalhos completos em duas edições do Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências (ENPEC), sendo a primeira no ano de 2015 (SOUZA et al., 2015) e a segunda em 2017 (SOUZA et al., 2017).

O questionário inicial utilizado também passou pelo mesmo processo de validação pelos pares no grupo de pesquisa, assim como a atividade investigativa (croqui) e sofreu diversas alterações em função das críticas construtivas recebidas.

2.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

A proposta foi desenvolvida com alunos do último ano do ensino fundamental que ainda não tiveram contato direto com a disciplina de física e, portanto, trazem para as discussões, predominantemente seu conhecimento prévio, adquirido a partir de experiências cotidianas.

Os resultados obtidos nesta pesquisa foram analisados à luz do padrão de evolução argumentativa proposto por *Stephen Toulmin*, que em primeiro momento foi pensado para as áreas da sociologia e direito, mas tem sido amplamente utilizado em pesquisa de educação e educação em ciências (CAPECCHI & CARVALHO, 2000), se mostrando eficaz em elucidar o processo argumentativo em sala de aula. Utilizamos também, para análise, os

indicadores de alfabetização científica propostos por Sasseron (2008) como já mencionado.

Conforme já apresentado, os dados obtidos nesta pesquisa são oriundos da prática pedagógica em sala de aula, em debates sobre questões científicas em que os sujeitos envolvidos são convidados a resolver um problema e, para tal tarefa, a argumentação se faz necessária para defender ou refutar uma hipótese. Tal fato nos leva a inferir que nossos levantamentos possuem, sobretudo, características de trabalhos qualitativos (cf. LUDKE & ANDRÉ, 2008; BOGDAN & BIKLEN, 1999).

Este trabalho, em sua totalidade, leva em consideração diversas áreas do conhecimento, por abordar conceitos científicos numa proposta interdisciplinar, discutindo física numa situação hipotética de acidente de trânsito, assunto de relevância social para o estudante. Não o bastante, recorreremos ainda, a referenciais teóricos específicos para analisar a comunicação oral em sala de aula, uma das muitas formas de linguagens conhecidas e de grande complexidade.

Por esse motivo, faz-se necessário a utilização de uma metodologia de pesquisa capaz de abarcar todas as especificidades e, portanto, optamos pelo viés qualitativo que, ainda segundo Bogdan e Biklen (1999), pode ser considerado como um grande guarda-chuva, capaz de contemplar diversas estratégias.

A pesquisa, de caráter qualitativo, objetivou investigar o potencial da utilização da física forense como agente facilitador do processo investigativo em sala de aula, através da análise de conteúdo obtido por meio da transcrição das vídeo/gravações (BARDIN, 2011).

2.2.1 Acessando os dados

Nesta etapa, apresentamos os procedimentos para coleta de dados, bem como os instrumentos utilizados, tais como gravação em áudio, puramente, e vídeo/gravação.

2.2.1.1 Registro em áudio e vídeo

Entendemos as gravações em áudio e vídeo como registros das atividades sociais, dos significados e conhecimentos locais e não como “realidade” (SKUKAUSKAITÉ et al., 2007). Este pensamento fundamenta-se na ideia de que as gravações são registros contextualizados, isto é, referem-se a um local e público específicos.

Além disso, o entendimento do vídeo como um registro e não como “realidade” nos permite analisar as interações sociais, o conteúdo disciplinar e a informação referencial que os membros propõem, de múltiplos ângulos e perspectivas teóricas diferentes.

Deste modo, enfatizamos que as informações extraídas do material coletado e analisado estão intimamente ligadas aos referenciais teóricos adotados na fundamentação desta pesquisa.

Filmamos (com registro em áudio e vídeo) toda a execução da atividade investigativa protagonista deste trabalho e, para isso, foram utilizadas duas aulas de 50 minutos cada, sendo este o tempo necessário para apresentação da proposta, investigação e discussão em grupo e coletiva.

Durante toda pesquisa utilizamos três dispositivos para coleta de dados, foram eles: um gravador que ficou junto ao professor/pesquisador responsável pela disciplina, um celular que foi utilizado pela professora que auxiliou durante a filmagem e um tablet posicionado na sala de aula de forma a contemplar a discussão final em conjunto. Os alunos não demonstraram incômodo durante a realização da atividade por conta da presença dos dispositivos para registro da aula.

Destacamos a utilização do gravador durante a atividade que auxiliou na reconstrução da discussão final da atividade, pois a qualidade do áudio obtido com o gravador foi superior a do tablet em função da distância que o dispositivo estava em relação aos estudantes.

2.2.1.2 Registro e transcrição das falas

A partir do material coletado em áudio e vídeo, selecionamos, para análise, dois dos quatro grupos que participaram da pesquisa. A seleção foi necessária em razão da grande quantidade de material coletado. Além disso, privilegiamos os registros com maior qualidade em termos de áudio, evitando possíveis problemas durante a análise dos dados obtidos.

Muito embora não realizamos a análise de todas as falas registradas, foi possível notar certa similaridade entre as discussões em cada grupo, tais como a dificuldade em perceber que o veículo 1 invadiu a contramão e que o veículo 2 trafegava pela rua Homero Thon antes do acidente, assim como o veículo 1.

Na transcrição das falas selecionadas optamos por dar nomes fictícios aos alunos que participaram da pesquisa a fim de preservar suas identidades.

Para evitar o risco de transformar os participantes em “caricaturas”, adequamos também suas falas à norma culta da língua portuguesa, sem, no entanto, produzir qualquer alteração no sentido das falas originais (CAMERON, 2001 apud DELL’ARETI, 2008).

Com a gravação em vídeo da pesquisa foi possível analisar o transcorrer da proposta com maior propriedade, identificando, por exemplo, durante a manipulação do material experimental, o teste de hipóteses realizado pelos alunos, na tentativa de confirmar ou refutar um ponto de vista, bem como os gestos dos alunos como forma de comunicação. Tais informações não poderiam ser registradas e analisadas apenas a partir da gravação de áudio.

3 ANÁLISE DOS DADOS

Como já foi mencionado, o objetivo deste trabalho foi analisar o potencial da física forense enquanto uma estratégia didática para o ensino de física na escola básica.

Na presente investigação, inserimos os alunos num ambiente de discussões sobre conceitos científicos relacionados à mecânica newtoniana, necessários para interpretação do hipotético acidente de trânsito construído previamente para a atividade investigativa.

De posse dos dados coletados, iniciamos a análise à luz dos referenciais teóricos já mencionados em capítulos anteriores, buscando identificar, nas falas dos alunos, algum tipo de evolução em seu processo argumentativo, além de indícios que nos permitam dizer que a proposta pode auxiliar no desenvolvimento de habilidades necessárias à alfabetização científica.

3.1 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO INICIAL

No primeiro momento desta proposta, os alunos responderam algumas questões abordando conceitos de conservação da quantidade de movimento e leis do movimento (leis de Newton).

O objetivo deste questionário foi identificar o conhecimento prévio dos alunos sobre os temas mencionados para então comparar com os resultados obtidos após a aplicação da proposta.

A seguir apresentaremos os resultados obtidos a partir do questionário.

Questão 1

1.

a) Um ônibus lotado para num ponto, onde embarcam passageiros. De repente, o motorista arranca. Qual a sensação dos passageiros? Explique sua resposta.

b) Considere que o mesmo ônibus esteja se movendo com velocidade de 80 km/h, de repente o motorista pisa no freio e para o veículo em um curto período de tempo. Qual a sensação dos passageiros dentro do veículo? Explique sua resposta.

A primeira questão abordava essencialmente o conceito de inércia, em duas situações, ambas com passageiros no interior de um ônibus. Na primeira, o motorista tira o ônibus da condição de repouso, e na segunda, o veículo é freado. Nesta questão, olhamos para o sentido do movimento que os alunos atribuíram aos passageiros, nas duas situações apresentadas, bem como as causas do movimento.

Todos os alunos acertaram o sentido do movimento dos passageiros nas duas situações, mas, ao explicarem suas respostas, 30% dos estudantes utilizaram palavras como empurrão, puxão ou impulso para justificar o movimento dos passageiros.

Percebe-se o caráter intuitivo em associar o conceito de inércia à ideia de força (empurrão e puxão) (GUIMARÃES, 1987).

A seguir algumas falas apresentadas pelos alunos para justificar os itens (a) e (b) da primeira questão:

“Como um empurrão” (resposta dada ao item a)

“Como um puxão” (resposta dada ao item b)

“Eles tiveram uma impulsão para trás por causa da inércia”

“Eles tiveram uma impulsão para frente por causa da inércia”

Uma parcela considerável (40%) discutiu, de alguma forma, a questão da manutenção do movimento na ausência de uma força resultante externa, chegando a expressar, brevemente, o enunciado da primeira lei do movimento e, em apenas um caso, aparece o conceito de aceleração.

A seguir algumas falas dos alunos que evidenciam o exposto acima:

“O ônibus anda e os passageiros ficam por causa da inércia, todo objeto parado tende a permanecer parado.”

“Eles ainda “estariam parados” (aspas do aluno), e quando a velocidade começa, eles vão para trás e depois voltam à normalidade.”

“De irem para trás (os passageiros), pois quando o motorista arranca os passageiros estão na velocidade.”

“De irem para frente, pois os passageiros ainda estão a 80km/h.”

“Os passageiros são jogados para trás, pois eles estavam acostumados a uma aceleração neutra.”

Nota-se nas respostas que os alunos apresentaram alguma familiaridade com o conceito de inércia, pelo menos no que tange a movimentação dos passageiros nas duas situações descritas na questão 1.

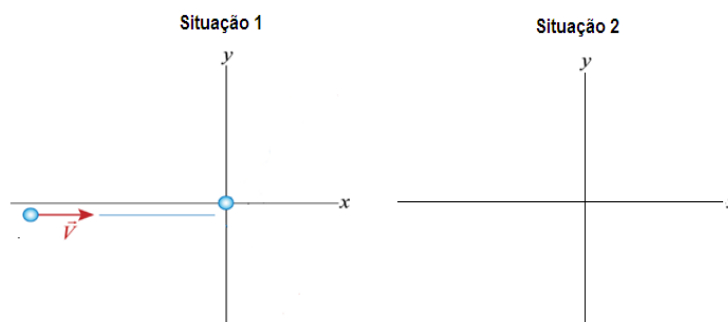
Podemos perceber, também, a relação que os alunos fizeram entre os conceitos de inércia e força, associando a movimentação dos passageiros a um suposto empurrão ou puxão, que aparece devido a variação da velocidade do ônibus como aponta Guimarães (1987).

O conhecimento prévio que os alunos trouxeram com certeza está associado as suas vivências em transportes públicos ou privados, onde passam por situações similares à apresentada na primeira questão do questionário, mas também pode estar associado ao ensino formal nas escolas, em que o conceito de inércia é discutido em questões de lápis e papel, por exemplo.

Podemos perceber a necessidade de discutir com mais profundidade o conceito de inércia, apresentado inclusive seus aspectos históricos, no que se refere à apresentação dos diversos colaboradores que se debruçaram sobre este tema.

Questão 2

Na **situação 1** temos duas bolinhas iguais, a primeira está parada e segunda se move em direção a primeira.



Considerando que a bolinha que estava se movendo se chocou contra a que estava parada, desenhe ao lado, na situação 2, uma possível representação das bolinhas após está colisão. Justifique sua resposta.

Na segunda questão, percebemos que os alunos não tiveram dificuldade em associar o movimento da bolinha que estava parada à interação com a bolinha que se movia inicialmente. No entanto, apenas 15% dos participantes conseguiram identificar que a colisão de uma bolinha com a outra não é exatamente no centro, mas a bolinha que se move atinge predominantemente um lado da bolinha que estava parada.

Ao analisarmos as trajetórias das bolinhas apresentadas pelos alunos percebemos que eles demonstraram dificuldade em relação ao caráter vetorial da conservação da quantidade de movimento.

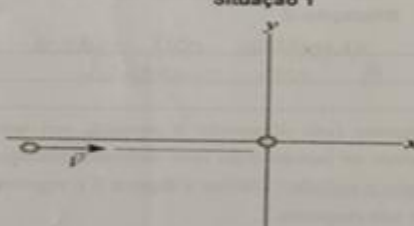
Por se tratar de um tema central do trabalho, foi importante identificar esta dificuldade e comparar com os dados coletados ao longo da aplicação da atividade, para dizer ou não, se houve algum indício de aprendizagem a partir da proposta.

Seguem, abaixo, alguns exemplos das respostas dadas pelos alunos para a questão dois do questionário.

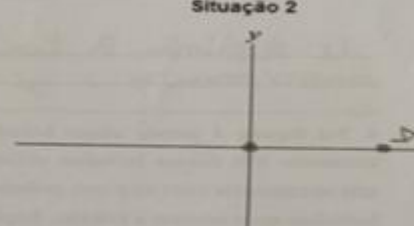
Figura 6 - Respostas apresentadas na questão 2 (a)

2. Na situação 1 temos duas bolinhas iguais, a primeira está parada e segunda se move em direção a primeira.

Situação 1



Situação 2

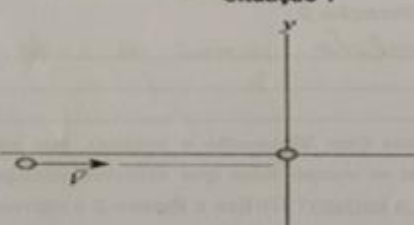


Considerando que a bolinha que estava se movendo se chocou contra a que estava parada, desenhe ao lado, na situação 2, uma possível representação das bolinhas após está colisão. Justifique sua resposta.

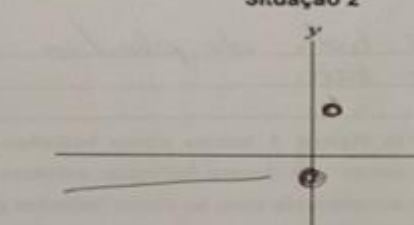
Após o choque a bolinha que estava se movendo se para e a bolinha que estava parada começa a andar.

2. Na situação 1 temos duas bolinhas iguais, a primeira está parada e segunda se move em direção a primeira.

Situação 1



Situação 2



Considerando que a bolinha que estava se movendo se chocou contra a que estava parada, desenhe ao lado, na situação 2, uma possível representação das bolinhas após está colisão. Justifique sua resposta.

Como a colisão foi na parte de baixo a outra subiu e por consequência da mudança a outra foi para baixo.

Fonte: autoria própria (dados de pesquisa)

Figura 7 – Respostas apresentadas na questão 2 (b)

2. Na **situação 1** temos duas bolinhas iguais, a primeira está parada e segunda se move em direção a primeira.

Situação 1

Situação 2

Considerando que a bolinha que estava se movendo se chocou contra a que estava parada, desenhe ao lado, na situação 2, uma possível representação das bolinhas após está colisão. Justifique sua resposta.

R. A bola que estava se movendo se movimenta de acordo com a velocidade da primeira bolinha. A primeira bolinha volta para o seu ponto de partida.

2. Na **situação 1** temos duas bolinhas iguais, a primeira está parada e segunda se move em direção a primeira.

Situação 1

Situação 2

Considerando que a bolinha que estava se movendo se chocou contra a que estava parada, desenhe ao lado, na situação 2, uma possível representação das bolinhas após está colisão. Justifique sua resposta.

Fonte: autoria própria (dados de pesquisa)

Os dados encontrados reforçam a importância de propor, em sala de aula, discussões que levem em consideração a conservação quantidade de movimento, bem como a relação deste conceito com as leis do movimento proposta por Isaac Newton e colaboradores.

Questão 3

Na **situação 1**, Pedrinho atira a bolinha (A) contra a bolinha (B), as duas bolinhas são iguais em dimensões como representado na figura, mas a bolinha (A) é feita de plástico e a (B) de ferro.



Na **situação 2**, Pedrinho está observando as bolinhas após a colisão. Como você acha que estariam se movendo as bolinhas que Pedrinho está observando? Faça o desenho na situação abaixo e justifique sua resposta.



Nesta questão, os alunos analisaram uma colisão unidimensional entre duas bolinhas com as mesmas dimensões, mas de materiais diferentes. Nesta situação a bolinha com maior massa está parada, enquanto a de menor massa se move em sua direção.

Por se tratar de um problema aberto, através deste questionamento tivemos a oportunidade de investigar como os alunos associam a massa de um corpo ao conceito de inércia, bem como a importância da velocidade no estudo da quantidade de movimento e sua conservação.

Durante a análise, identificamos cinco grupos de respostas, são eles:

GRUPO 1: Após a colisão a bolinha “B” (bolinha de ferro) adquiriu movimento sendo que a bolinha “A” (bolinha de plástico) passou a se movimentar no sentido oposto;

Algumas justificativas encontradas neste grupo:

“A bola de plástico ela empurra a bola de ferro, porém a bola (B) se mexe muito pouco, e a bola (A) repele”.

“A bolinha (B) teria pouco ou quase nenhum movimento, já a (A) vai ricochetear”.

GRUPO 2: A bolinha “A” deixaria de se movimentar após a colisão e “B” avançaria;

“Depois da colisão a bola (A) para no local da (B), e a (B) avança na “antidireção” que foi colidida”.

“(A) fica parada e (B) em movimento”.

GRUPO 3: A bolinha “B” não se moveria após a colisão e a bolinha “A” se movimentaria no sentido oposto ao inicial;

“A bolinha (A) bate e volta e a (B) continua parada porque é mais pesada”.

GRUPO 4: Não mencionaram a bolinha (B) mas citam a inversão do sentido do movimento da bolinha (A);

“A bola de plástico colide com a de ferro e volta”

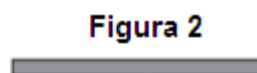
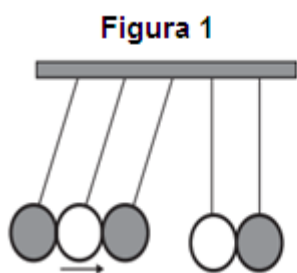
“Pois a bolinha de ferro é mais forte que a de plástico”

GRUPO 5: Não deixou claro seu raciocínio ao responder a questão.

É importante salientar que os valores das massas e das velocidades das bolinhas não foram mencionados no enunciado, o que pode ter favorecido grandes variações nas respostas.

Questão 4

Na **figura 1** temos cinco bolinhas iguais (em dimensão e massa), em um dado momento três dessas bolinhas colidem com as outras duas que estavam paradas. O que aconteceria com as cinco bolinhas após a colisão? Utilize a **figura 2** e represente as bolinhas após ocorrer a colisão. Explique sua resposta.



A questão aborda um problema clássico de conservação da quantidade de movimento, em que três bolinhas em movimento colidem com outras duas, inicialmente em repouso (todas são idênticas).

Esta foi a questão em que os participantes apresentaram mais dificuldade, apesar de se tratar de um item de decoração, os alunos não demonstraram ter nenhum tipo de experiência com o objeto.

Nesta questão, apenas 7% dos alunos representou, de forma correta, o movimento das bolinhas após a colisão, a maior parte dos alunos 70% representou duas bolinhas em movimento após a colisão, 7% mencionou que apenas uma bolinha se moveria após o choque e 15% não deixaram clara a resposta.

Mesmo tendo passado pelo processo de validação, somente após a aplicação do questionário, percebemos que a questão se mostrou inadequada por apresentar alto grau de complexidade para o público alvo naquele momento, podendo assim, não ter representado em sua totalidade o conhecimento prévio dos alunos a respeito da temática central da questão.

3.1.1 Considerações sobre o questionário inicial

Das quatro questões propostas, três tratavam exclusivamente o conceito de conservação da quantidade de movimento, explorando o conhecimento prévio dos alunos a respeito do caráter escalar e vetorial deste tema.

A pergunta que mais se aproxima da atividade investigativa proposta no croqui é a número dois, por isso demos mais ênfase a essa questão, comparando o que os alunos responderam no questionário inicial com as argumentações apresentadas para solucionar o problema do acidente de trânsito.

Buscou-se identificar algum indício de evolução no processo argumentativo dos alunos durante a atividade, principalmente no que se refere a determinação da trajetória dos veículos, representados no croqui, que por sua vez, dependerá de uma análise da conservação da quantidade de movimento dos veículos no hipotético acidente.

3.2 ANÁLISE DAS DISCUSSÕES EM GRUPO

Como já mencionado em capítulos anteriores, a parte investigativa desta proposta ocorreu durante duas aulas de cinquenta minutos cada, da explicação da proposta e apresentação do problema norteador, passando pela discussão em grupo até a discussão final com toda a sala.

Os alunos estavam cientes de que as discussões seriam registradas para posterior análise, inclusive já haviam assinado o termo de assentimento referente à participação na atividade, o termo de consentimento também já havia sido assinado pelos responsáveis pelos discentes.

Todas as informações pertinentes foram divulgadas ao grupo com antecedência, e também lembradas durante a aplicação do questionário inicial. Acreditamos que este preparo para a atividade reduziu bastante o grau de ansiedade dos alunos, tornando o processo mais natural, mesmo com a ocorrência de práticas atípicas durante a aula, como o registro da mesma.

Para esta atividade, os alunos foram encaminhados para outro espaço nas dependências do colégio, com mesas circulares, que acomodavam grupos de quatro a cinco integrantes. O espaço era bastante familiar para todos os alunos.

Após todo o preparo para a atividade, os alunos receberam o material da aula (croqui, questões norteadoras e carrinhos de brinquedo). No momento da entrega, o professor responsável apresenta a atividade como um jogo, colocando os alunos como jogadores na condição de peritos; tal atitude buscou imergir os participantes na proposta e favorecer as discussões (BOYLE, 2012).

No primeiro momento, os participantes discutiram as questões norteadoras (feitas pelo juiz responsável pelo caso) em grupo, e com auxílio dos carrinhos, os alunos puderam discutir e testar as hipóteses levantadas para interpretação e reconstrução do acidente.

Enquanto as discussões aconteciam, os equipamentos utilizados para gravação (áudio e vídeo) foram conduzidos e/ou posicionados pela sala, registrando a reação dos alunos frente ao desafio apresentado, bem como as discussões que se desenvolveram.

Com o intuito de apresentar de forma mais clara a análise dos dados, optamos por introduzir cada episódio de ensino, contextualizando o momento da discussão e, na sequência, apresentamos o diálogo com nossos referenciais teóricos de análise.

Dois grupos foram analisados nesta proposta, grupos A e B, em cada um deles existem episódios que ilustram o transcorrer das discussões até o encaminhamento final. Estes episódios, por sua vez, estão numerados, sendo assim, o episódio 1-A refere-se ao início da discussão do grupo A, por exemplo.

Em função do grande volume de dados obtidos, decidimos analisar, com maior profundidade, apenas dois dos quatro grupos. Na escolha privilegiamos os grupos em que o áudio registrado tinha maior qualidade, evitando possíveis distorções na análise das falas.

Embora tenhamos restringido a análise dos dados, notamos certa similaridade entre as discussões dos grupos.

Iniciamos a análise das falas apresentando os indicadores de alfabetização científica propostos por Sasseron (2008), e, na sequência,

apresentamos a análise das mesmas falas à luz do padrão argumentativo proposto por Toulmin (2006), evidenciando as possíveis evoluções argumentativas e indícios de aprendizagem encontrados ao longo das discussões em grupo.

É importante mencionar que a argumentação já constitui um indicador de alfabetização científica por se tratarem de processos que buscam relacionar dados a conclusões por meio de justificativas e explicações, em que os alunos apresentam suas hipóteses para interpretação de um problema e, havendo divergência entre os pontos de vista apresentados, inicia-se o processo de discussão para refutação ou consolidação de um argumento, surgindo então previsões, justificativas e explicações.

Sendo assim, consideramos a estrutura argumentativa também como um indicador de alfabetização.

Episódio 1 - A

Já no primeiro episódio, podemos notar uma tentativa de reconstruir a dinâmica do acidente, o que se refere à questão quatro do material disponibilizado. Podemos notar também que, como aponta Sasseron (2008), o estabelecimento de bases para a ação investigativa (seriação de informações) não prevê necessariamente uma ordem que deve ser estabelecida para as informações, podendo ser uma lista de informações ou uma relação dos dados com os quais se vá trabalhar.

Professor: E aí pessoal o que vocês encontraram?

Aluno 1: Oh, eu acho que é assim professor: na rua Homero Thon veio o veículo 1 e aqui está a marca da frenagem dele, e aqui estão os fragmentos da lanterna do veículo 2.

Ao serem questionados, surgem as primeiras falas na tentativa de compreender a dinâmica do hipotético acidente de trânsito, e podemos notar o

envolvimento dos alunos com a atividade, uma sinalização do envolvimento afetivo dos alunos com o personagem do perito no jogo (BOYLE, 2012), o que nos possibilitou maior número de falas e discussões mais ricas.

Já nesta primeira fala, podemos encontrar os primeiros indicadores de alfabetização científica, pois ao formulá-la o aluno precisou, minimamente, organizar e classificar as informações disponíveis no material de análise, para formular sua hipótese na tentativa de compreender o acidente.

Abaixo, um quadro resumo com os indicadores encontrados neste primeiro episódio (SASSERON, 2008).

Quadro 4 - Indicadores de Alfabetização Científica presentes no episódio 1-a

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
Organização de informações	<i>“[...] na rua Homero Thon veio o veículo 1[...].”</i>
Classificação de informações.	<i>“[...] aqui está a marca da frenagem dele (veículo 1) [...]”</i> <i>“[...] e aqui estão os fragmentos da lanterna do veículo 2.”</i>
Levantamento de hipótese	<i>“Oh, eu acho que é assim professor: [...]”</i>

Fonte: autoria própria

Episódio 2 - A

Novamente os alunos discutem a questão número quatro e, a partir dela, acabam esbarrando em outras indagações da proposta.

Aluno 1: Para mim ele (veículo 1) estava na rua Homero Thon, aparentemente, eles se chocam aqui (aluno aponta o lugar no esquema do acidente), e aqui ficam os fragmentos da lanterna (veículo 2) e esse aqui (veículo 1) vem parar aqui (posição indicada no croqui) e esse aqui (veículo 2) vem parar aqui (posição indicada no croqui).

Professor: Estes vestígios aqui são da lanterna traseira ou dianteira?

Aluno 1: Dianteira.

Professor: Lanterna dianteira é a da frente ou a de trás?

Aluno 1: da frente.

No trecho anterior, o mesmo aluno continua expondo seu ponto de vista e apresentando suas hipóteses para solucionar o problema. Nota-se que a fala está relacionada à questão número quatro (*Como aconteceu o acidente?*).

Percebemos, novamente, a classificação das informações disponibilizadas no croqui e, neste momento da discussão, surge a primeira explicação para o acidente acompanhada de uma previsão.

Quadro 5 - Indicadores de Alfabetização Científica presentes no episódio 2-a

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
Classificação de informações.	<i>Professor: Estes vestígios aqui são da lanterna traseira ou dianteira?</i> <i>Aluno 1: Dianteira.</i> <i>Professor: Lanterna dianteira é a da frente ou a de trás?</i> <i>Aluno 1: da frente.</i>
Levantamento de hipótese	<i>“[...] aparentemente, eles se chocam aqui (aluno aponta o lugar no esquema do acidente) [...]”</i>
Previsão	<i>“[...] esse aqui (veículo 1) vem parar aqui (posição indicada no croqui) e esse aqui (veículo 2) vem parar aqui (posição indicada no croqui).”</i>
Explicação	<i>“Para mim ele (veículo 1) estava na rua Homero Thon, aparentemente, eles se chocam aqui (aluno aponta o lugar no esquema do acidente) [...]”</i>

Fonte: autoria própria

Episódio 3 – A

Neste episódio destacamos o argumento colocado pelo aluno 2, que se opõe ao primeiro argumento apresentado, abrindo espaço para o aparecimento dos qualificadores modais, que podem reforçar ou refutar um argumento.

Aluno 2: Para mim o que aconteceu foi assim, oh! (aluno apresenta, utilizando o croqui e os carrinhos, outra possibilidade de trajetória par o veículo 2).

Professor: Você acha que o veículo 2 está veio da rua Ondina?

Aluno 2: Eu não sei o nome da rua, mas eu acho que ele estava vindo daqui (aluno aponta posição na rua Ondina no esquema do acidente). Para mim ele (veículo 2) veio daqui e foi o que aconteceu, foi assim (aluno reafirma sua primeira hipótese).

Professor: Olha, o aluno 2 está dizendo que o carro preto (veículo 2) veio da rua Ondina, e o aluno 1 disse que ele (veículo 2) veio da rua Homero Thon, e aí?

Aluno 3: Não aí “bugô”!³

Aluno 1: A frenagem é do 1 mas a lanterna é do 2, então aparentemente esse (veículo 1) veio daqui e esse (veículo 2) veio daqui, se chocaram aqui (aluno aponta as posições no croqui, afirmando o que já havia dito).

Após as discussões iniciais e com base nas hipóteses levantadas pelo aluno 1, os demais membros do grupo se posicionam frente a quarta questão

³ A expressão entre aspas é utilizada pelo aluno para justificar um conflito, uma impossibilidade de continuar. Na área da informática, o termo também pode ser entendido como uma falha.

da atividade, apresentado outra possibilidade de trajetória para o veículo 2 antes da colisão no cruzamento entre as duas ruas.

Nota-se que o aluno 2 não organizou totalmente as informações antes de propor sua hipótese sobre o movimento dos veículos, o que facilita a contestação de sua hipótese (refutação do argumento), pela ausência de uma garantia que a sustente.

Quadro 6 - Indicadores de Alfabetização Científica presentes no episódio 3-a

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
Levantamento de hipótese	<p><i>Aluno 2: “Para mim o que aconteceu foi assim, oh! (aluno apresenta, utilizando o croqui e os carrinhos, outra possibilidade de trajetória par o veículo 2)”</i></p> <p><i>Professor: “Você acha que o veículo 2 veio da rua Ondina?”</i></p> <p><i>Aluno 2: “Eu não sei o nome da rua, mas eu acho que ele estava vindo daqui (aluno aponta posição na rua Ondina no esquema do acidente). Para mim ele (veículo 2) veio daqui e foi o que aconteceu, foi assim (aluno reafirma sua primeira hipótese).”</i></p> <p><i>Aluno 1: “A frenagem é do 1 mas a lanterna é do 2, então aparentemente esse (veículo 1) veio daqui e esse (veículo 2) veio daqui, se chocaram aqui (aluno aponta as posições no croqui, afirmando o que já havia dito)”.</i></p>

Fonte: autoria própria

Episódio 4 – A

Nota-se, nesse momento, a importância dos carrinhos para a continuação da atividade, pois sem o auxílio dos mesmos não seria possível testar as duas hipóteses apresentadas sobre a trajetória do veículo 2 antes do acidente.

Professor: Galera, vocês chegaram a alguma conclusão? Sobre o carro preto (veículo 2), de onde ele estava vindo?

Aluno 1: Eu acho que é da rua Homero Thon.

Professor: Tenta fazer o teste, colidindo os carrinhos, como o aluno 2 mostrou e como você (aluno 1) pensou.

Aluno 2: Foi assim oh! (aluno colide os carrinhos de acordo com sua hipótese para explicação do acidente).

Aluno 1: Mas se o preto (veículo 2) tivesse vindo da rua Ondina ele teria pego uma lanterna só e não as duas.

Aluno 3: Mas pegou as duas?

Neste momento, os alunos são convidados pelo professor a realizar as colisões possíveis, de acordo com suas hipóteses, utilizando os carrinhos disponíveis para a atividade.

Com o auxílio dos carrinhos, os alunos puderam testar as possibilidades encontradas e, a partir dos testes, tirarem novas conclusões. Possivelmente, sem esse material de apoio, as discussões teriam se limitado apenas ao levantamento das duas hipóteses.

Destaca-se, nesse trecho da gravação, o teste de hipótese: a partir do material experimental, as novas previsões apresentadas, acompanhadas de suas respectivas justificativas, negando ou conferindo ao argumento maior grau de complexidade.

Quadro 7 - Indicadores de Alfabetização Científica presentes no episódio 4-a

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
-----------	----------------------------------

Teste de hipótese	<i>Aluno 2: “Foi assim oh! (aluno colide os carrinhos de acordo com sua hipótese para explicação do acidente).”</i>
Justificativa	<i>Aluno 1: “Mas se o preto (veículo 2) tivesse vindo da rua Ondina ele teria pego uma lanternas só e não as duas.”</i> <i>Aluno 3: “Mas pegou as duas?”</i>

Fonte: autoria própria

Episódio 5 - A

A partir dos testes, o grupo consegue finalmente chegar a uma conclusão sobre a trajetória do veículo 2 antes do acidente, apresentado, inclusive, de forma implícita, conceitos relacionados à conservação da quantidade de movimento, ao afirmarem que o veículo 2 não poderia estar trafegando pela rua Ondina antes do acidente, pois, se assim fosse, a disposição dos veículos após a colisão seria outra, diferente da que está representada no croqui

A partir da associação entre a primeira hipótese apresentada para o movimento dos veículos antes da colisão com conhecimento básico (conhecimento científico), o argumento adquire maior grau de complexidade e solidez, uma vez que o conhecimento científico atua neste caso como um qualificador modal, conferindo credibilidade ao argumento proposto pelo aluno 1 do grupo A.

Aluno 2: Para mim foi assim (aluno apresenta sua primeira hipótese com os carrinhos), mas também pode ser assim (hipótese colocada pelo aluno 1).

Aluno 4: Como assim, empresta os carrinhos aqui. Se esse carrinho veio daqui (veículo 1) e esse (veículo 2) veio daqui (rua Ondina), essas são as lanternas dianteiras, certo?

Professor: Certo! As da frente.

Aluno 4: Só se esse daqui veio daqui e bateu...mas não tem como esse carro (veículo 1) vir parar aqui se esse aqui (veículo 2) veio daqui (Rua Ondina), porque aqui é a lanterna dianteira dos dois.

Aluno 3: Dianteira é a da frente.

Professor: não tem como?

Aluno 1: Aqui são quatro lanternas (quatro pedaços de lanterna dianteira).

Aluno 4: Esse carro (veículo 1) vem e bate nesse daqui (veículo 2) e vem parar aqui em cima. Não tem como!

Professor: interessante!

Conforme as discussões aconteciam, novos argumentos surgiam para tentar entender a dinâmica do acidente e, naturalmente, os alunos se questionavam, na tentativa de interpretar o caso ou derrubar um posicionamento, o que fez, por exemplo, que o aluno dois repensasse seu argumento inicial.

Aluno 2: Para mim foi assim (aluno apresenta sua primeira hipótese com os carrinhos), mas também pode ser assim (hipótese colocada pelo aluno 1).

Surge, então, o argumento do aluno quatro, reforçando o posicionamento do aluno um e inviabilizando a possibilidade do veículo dois estar trafegando pela rua Ondina antes da colisão. Nota-se na fala do aluno quatro, noções de quantidade de movimento e sua conservação ao afirmar que seria impossível os veículos terem parado na disposição indicada no croqui se o veículo dois trafegasse pela rua Ondina.

Quadro 8 - Indicadores de Alfabetização Científica presentes no episódio 5-a

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
Organização e classificação das informações	<p><i>“Aluno 4: Como assim, empresta os carrinhos aqui. Se esse carrinho veio daqui (veículo 1) e esse (veículo 2) veio daqui (rua Ondina), essas são as lanternas dianteiras, certo?”</i></p> <p><i>“Professor: Certo! As da frente.”</i></p>
Justificativa e Explicação	<p><i>“Aluno 4: Só se esse daqui veio daqui e bateu...mas não tem como esse carro (veículo 1) vir parar aqui se esse aqui (veículo 2) veio daqui (Rua Ondina), porque aqui é a lanterna dianteira dos dois.”</i></p> <p><i>“Professor: não tem como?”</i></p> <p><i>“Aluno 4: Esse carro (veículo 1) vem e bate nesse daqui (veículo 2) e vem parar aqui em cima. Não tem como!”</i></p> <p><i>“Professor: interessante!”</i></p>

Fonte: autoria própria

Gostaríamos de destacar alguns pontos positivos da proposta até o momento, são eles:

- (a) parece-nos bastante razoável, dizer que a atividade investigativa, centrada numa situação forense, engajou os alunos na proposta, favorecendo o debate em sala de aula sobre conceitos da mecânica newtoniana;
- (b) durante as discussões os alunos apresentaram suas hipóteses para interpretação do caso, conseguindo ainda testá-las com auxílio do material disponível, lembramos que as hipóteses apresentadas nem sempre estavam em ressonância, o que favoreceu o debate;
- (c) a presença dos indicadores nas falas dos alunos evidencia o processo alfabetização científica em processo durante a proposta;

Na sequência apresentaremos o diálogo entre o primeiro referencial de análise, o eixo dos indicadores de (AC), com o padrão argumentativo proposto por Toulmin (2006). A análise será feita a partir dos mesmos dados, sendo assim, evitamos, em alguns momentos, repetir todas as falas dos alunos que já constam neste capítulo.

3.2.1 O padrão de Stephen Toulmin

Na sequência, apresentaremos um complemento da análise anterior. Neste complemento, olhamos para os dados apresentados anteriormente à luz de outro referencial teórico, o padrão para análise de processos argumentativos proposto por de Stephen Toulmin.

Com este padrão, buscamos possíveis evoluções no perfil argumentativo dos alunos possibilitadas pela atividade, identificando todos os elementos previstos no padrão como, por exemplo, dados, justificativas e conclusões, bem como suas relações.

A sequência de falas tem como dado os fragmentos encontrados no cruzamento e as marcas de frenagem do veículo 1 na rua Homero Thon, além da indicação do limite de velocidade da via. As informações abaixo podem ser identificadas no croqui e são os dados para investigação.

- (a) os fragmentos dispostos na via são compatíveis com a lanterna do veículo 2;*
- (b) as marcas de frenagem encontradas na rua Homero Thon são compatíveis com os pneus do veículo 1;*
- (c) o limite de velocidade da rua Homero Thon é 40 km.h⁻¹.*

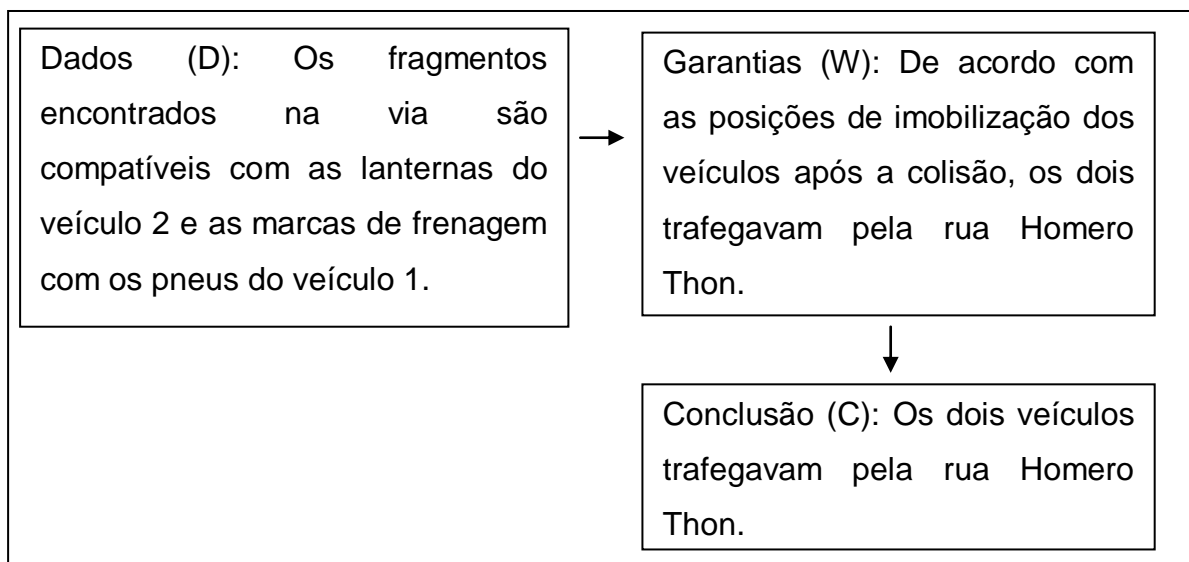
Conforme o padrão proposto por Toulmin, os dados são o apoio de uma afirmação e a base para uma conclusão e, portanto permitem o levantamento de hipóteses para solução do problema proposto pelo professor.

Aluno 1: Oh, eu acho que é assim professor: na rua Homero Thon veio o veículo 1, e aqui estão as marcas de frenagem dele, e aqui estão os fragmentos da lanterna do veículo 2.

Aluno 1: Para mim ele (veículo 1) estava na rua Homero Thon, aparentemente, eles se chocam aqui (aluno aponta o lugar no esquema do acidente), e aqui ficam os fragmentos da lanterna (veículo 2) e esse aqui (veículo 1) vem parar aqui (posição indicada no croqui) e esse aqui (veículo 2) vem parar aqui (posição indicada no croqui).

Nas falas acima, o aluno 1 apresenta as **garantias** (W) para reconstruir o acidente, relacionando os **dados** (D) a **conclusão** (C). Neste primeiro momento, a fala do aluno 1 apresenta os dois veículos na mesma via, antes do acidente, indicando uma colisão frontal, a hipótese é apresentada por conta das posições de imobilização dos veículos após o acidente.

Figura 8 - Versão simplificada da argumentação com o padrão de Toulmin

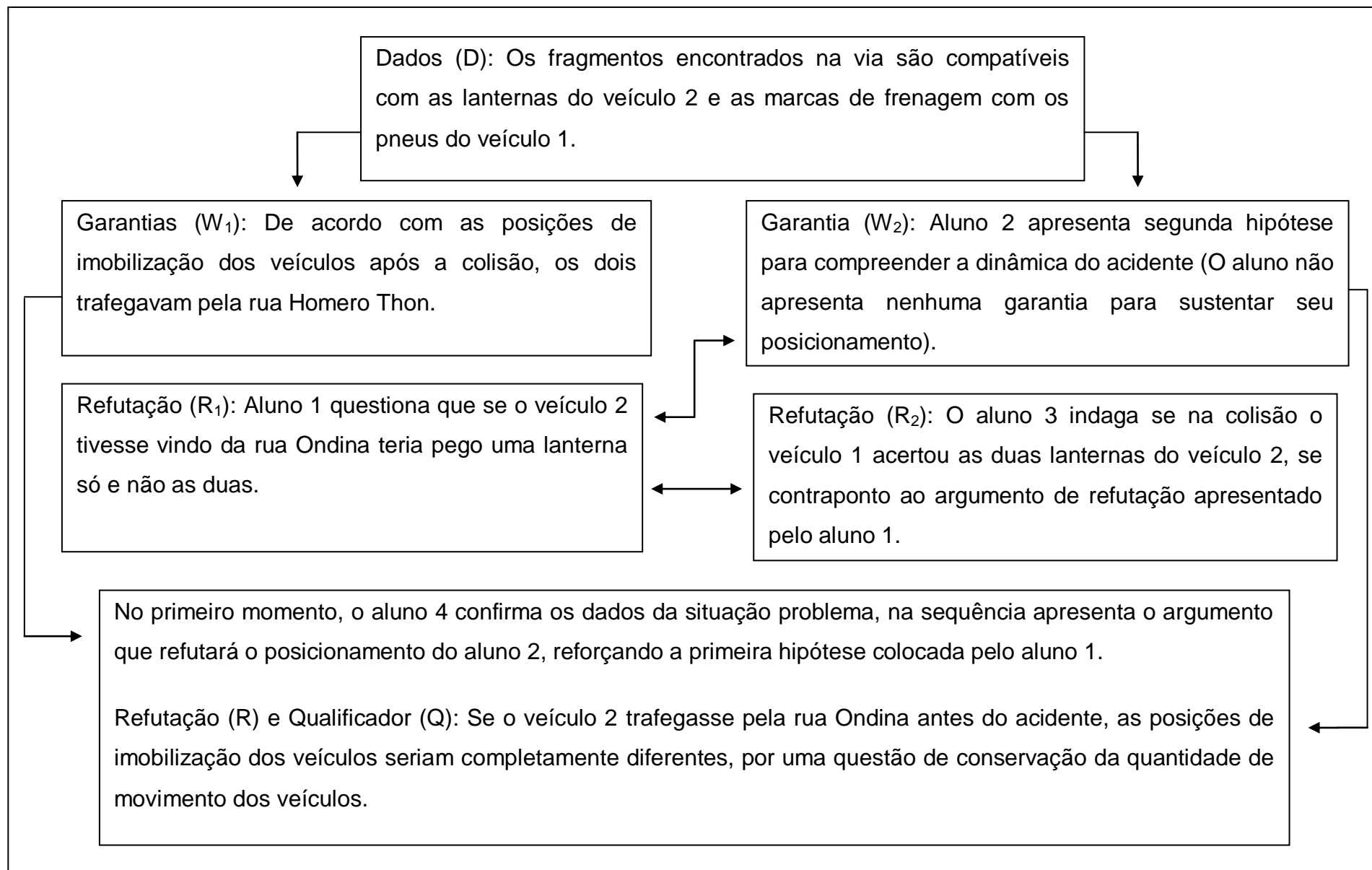


Fonte: autoria própria

Na sequência de falas apresentadas nos episódios 3; 4 e 5A, observam-se outras **garantias** (W) para a interpretação do acidente, **refutações** (R) e o **conhecimento básico** (B) na condição de **qualificador** (Q).

A seguir temos a organização das falas apresentadas nos episódios mencionados acima, de acordo com a estrutura proposta no padrão de Toulmin.

Figura 9 - Versão completa da estrutura argumentativa do grupo (a)



Fonte: autoria própria

Podemos observar, no quadro anterior, que os argumentos apresentados pelo aluno quatro reforçam o argumento inicial, proposto pelo aluno 1 e, ao mesmo tempo, inviabilizam a hipótese colocada pelo aluno 2.

Em sua fala, o aluno quatro utiliza conceitos relacionados à conservação da quantidade de movimento para justificar porque o veículo 2 trafegava pela rua Homero Thon e não pela rua Ondina, conforme o aluno dois havia pensado.

Nota-se, a partir da comparação dos dois quadros apresentados, o desenvolvimento do processo argumentativo em função da necessidade da inserção de novos elementos previstos no padrão argumentativo conforme aponta Toulmin (2006), o que nos permite dizer que há indícios de apropriação da proposta por conta da busca e acúmulo de repertório para responder aos questionamentos.

Episódio 1 – B

Como já mencionado, as discussões dos grupos foram divididas em episódios para facilitar a análise, bem como a compreensão dos dados obtidos, sendo assim, trataremos agora das discussões de outro grupo de alunos.

Ao serem questionados sobre o desenvolvimento da atividade os participantes já apresentaram seu palpite sobre o veículo culpado pelo acidente. Como aponta Sasseron (2008), a seriação de informações não apresenta necessariamente uma ordem que deva ser estabelecida, neste grupo nota-se, por exemplo, que as discussões giraram em torno de fundamentar a acusação feita ao condutor do veículo 1, que foi identificado como infrator desde o início da investigação.

Professor: E aí pessoal, responderam tudo?

Aluno 1: O veículo 1 causou o acidente, ele estava na contra-mão.

Aluno 2: Aqui na rua Homero Thon a velocidade é 40km.h^{-1} mas pelas marcas de frenagem que são 28,5m ele deveria estar a mais do que isso (acima do limite de velocidade da via).

Professor: Pelas marcas na via você está dizendo que o veículo 1 estava a mais de 40km.h^{-1} ?

Aluno 2: Estava a mais. Eu acho que ele estava no mínimo a 80km.h^{-1} pelas marcas de frenagem, e ele estava na contramão também, o veículo 1.

Professor: Por que ele estava na contramão?

Aluno 2: Por que quando esse aqui (veículo 2) foi virar, ele já estava virando assim (aluno indica veículo 2 realizando manobra de evasão) e o veículo 1 pegou aqui (local da colisão).

Aluno 1: Sem contar que as marcas começam na contramão e elas não tem o sinal que virou.

Nota-se, nas respostas, maior atenção aos detalhes e algum conhecimento prévio, ao perceber que as marcas de frenagem do veículo 1 estavam em local inadequado.

A atenção aos detalhes e a informação que o grupo dispunha encaminhou as discussões, permitindo o estabelecimento de relações entre dados e conclusões de forma mais objetiva.

É possível notar também que, de forma curiosa, o primeiro indicador de (AC) que aparece é uma previsão, seguida de uma justificativa (garantia), ao ser mencionado que o veículo 1 é culpado pelo acidente pois invadiu a contramão.

Quadro 9 - Indicadores de alfabetização científica presentes no episódio 1-B (a)

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
Previsão	<i>Aluno 1: “O veículo 1 causou o acidente [...]”</i>
Justificativa Explicação (em fase de construção)	<i>Aluno 1: “[...] ele estava na contramão.”</i>

Fonte: autoria própria

Não classificamos esta primeira fala como uma hipótese porque o aluno associou o fenômeno observado (colisão entre os veículos) ao fato do veículo 1 ter trafegado pela faixa contramão. Identificamos, nessa fala, uma associação entre fenômeno e acontecimento, característica de uma previsão (SASSERON, 2008).

As discussões que seguem após as primeiras falas têm o objetivo de reforçar a previsão inicial.

Por meio da organização das informações disponíveis, os alunos identificam também alguma relação entre as dimensões das marcas de frenagem na via com a velocidade inicial do veículo, o que permite uma segunda previsão, relacionada à velocidade inicial do veículo 1 no início da frenagem.

Quadro 10 - Indicadores de alfabetização científica presentes no episódio 1-B (b)

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
Organização das informações	<i>Aluno 2: “Aqui na rua Homero Thon a velocidade é 40km.h^{-1}[...]”</i>
Organização das informações	<i>Aluno 2: “[...] mas pelas marcas de frenagem que são 28,5m [...]”</i>
Previsão	<i>Aluno 2: “[...] ele deveria estar a mais do que isso (acima do limite de velocidade da via.)”</i> <i>Aluno 2: “Estava a mais. Eu acho que ele estava no mínimo a 80km.h^{-1} pelas marcas de frenagem [...]”</i>

Fonte: autoria própria

Os alunos relacionam de forma correta o comprimento da marca de frenagem, deixada na via pelo veículo 1 durante a frenagem, com sua velocidade antes do acionamento dos freios, afirmando que o veículo deveria estar acima do limite de velocidade (ação), esta previsão se dá em função do comprimento das marcas de pneu deixadas na via pelo veículo 1 (acontecimento).

Os elementos previstos nas falas são característicos do indicador de previsão, pois este busca justamente relacionar acontecimentos a ações ou fenômenos. Neste caso, o que o aluno 1 menciona em sua previsão é que o veículo 1 só deixou uma marca de frenagem tão extensa na via (acontecimento), pois deveria estar acima do limite de velocidade.

Nota-se maior articulação nas falas dos alunos ao longo das discussões e, a medida que novos elementos são inseridos, isto é, a partir da associação de hipóteses levantadas e dados disponíveis, os argumentos ficam cada vez mais sólidos.

Episódio 2 - B

Após o primeiro momento de discussão, surgem então as primeiras tentativas de tecer a relação entre os dados disponíveis, o que nos permite observar o primeiro indicador de explicação, sintetizando o episódio 1 – B.

Aluno 2: Como esse aqui (veículo 1) estava na contra-mão, não sei se ele não reparou ou alguma coisa assim, ele (veículo 1) estava em alta velocidade, estava a mais de 40km.h^{-1} pelas marcas de frenagem, viu que um carro (veículo 2) estava chegando e para tentar evitar o acidente ele (veículo 1) freou. Quando esteve aqui (veículo 2) estava virando para evitar o acidente, ele (veículo 1) acertou a lanterna e pela velocidade eles andaram (após a colisão).

Quadro 11 - Indicadores de Alfabetização Científica presentes no episódio 2-b

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
Classificação e organização de informações	<i>Aluno 2: “Como esse aqui (veículo 1) estava na contramão [...]”</i>
Classificação organização de informações	<i>Aluno 2: “[...] ele (veículo 1) estava em alta velocidade, estava a mais de 40km.h⁻¹ pelas marcas de frenagem [...]”</i>
Previsão	<i>Aluno 2: “[...] viu que um carro (veículo 2) estava chegando e para tentar evitar o acidente ele (veículo 1) freou [...]”</i>
Explicação	<i>Aluno 2: “Como esse aqui (veículo 1) estava na contramão, não sei se ele não reparou ou alguma coisa assim, ele (veículo 1) estava em alta velocidade, estava a mais de 40km.h⁻¹ pelas marcas de frenagem, viu que um carro (veículo 2) estava chegando e para tentar evitar o acidente ele (veículo 1) freou. Quando esteve aqui (veículo 2) estava virando para evitar o acidente, ele (veículo 1) acertou a lanterna e pela velocidade eles andaram (após a colisão)”.</i>

Fonte: autoria própria

Destaca-se neste trecho, o envolvimento dos alunos com o jogo, entrando no popular - faz de conta – ao se referir ao condutor do veículo 2 (BOYLE, 2012), como podemos perceber no trecho abaixo:

Aluno 2: Como esse aqui (veículo 1) estava na contramão, não sei se ele não reparou ou alguma coisa assim [...]

Além disso, podemos perceber que a explicação para o problema se tornou mais consistente, como podemos perceber no quadro 11. Isso se da muito em função da organização e classificação dos dados, que segundo Sasseron (2008), podem aparecer tanto no início da explicação do problema, quanto numa possível retomada.

Episódio 3 – B

Neste momento da discussão o professor coloca, em forma de questionamento, uma nova hipótese para a trajetória do veículo 2 antes do acidente, o que representa, neste episódio, uma refutação ao primeiro argumento apresentado pelos alunos mencionando que ambos os veículos trafegavam pela rua Homero Thon.

A nova hipótese colocada pelo professor faz com que os alunos utilizem os carrinhos para conduzir a explicação, testando as hipóteses apresentadas.

Professor: Mas esse carro preto (veículo 2) não poderia estar vindo daqui (rua Ondina)?

Aluno 3: Não! Porque se eles tivessem batido assim ele (veículo 1) teria vindo para cá.

Aluno 4: Exato!

Professor: Não tem como esse carro (veículo 1) vir parar aqui se o veículo 2 tivesse vindo pela rua Ondina?

Quadro 12 - Indicadores de Alfabetização Científica presentes no episódio 3-b

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
Levantamento de hipótese	<i>Professor: “Mas esse carro preto (veículo 2) não poderia estar vindo daqui (rua Ondina)?”</i>
Levantamentos de hipótese	<i>Aluno 3: “Não! Porque se eles tivessem batido assim ele (veículo 1) teria vindo para cá”.</i>
Previsão	<i>Professor: “Não tem como esse carro (veículo 1) vir parar aqui se o veículo 2 tivesse vindo pela rua Ondina?”</i>

Fonte: autoria própria

Quando questionado sobre a segunda possibilidade de trajetória para o veículo 2 antes da colisão, o aluno 2 apresenta sua hipótese, relacionando, novamente, ações a acontecimentos (previsão), prevendo que se o veículo 2 tivesse trafegando pela rua Ondina antes do acidente, a posição de imobilização dos veículos seria diferente da representada no croqui.

Na sequência, a partir do questionamento do professor, surge a necessidade do teste de hipótese e confirmação da previsão.

3.3 O TESTE DE HIPÓTESES E CONFIRMAÇÃO DA PREVISÃO COM AUXÍLIO DOS CARRINHOS

Buscando responder ao questionamento do professor, os alunos realizam o teste de colisão dos carrinhos simulando as duas possibilidades apresentadas, o que possibilita uma nova previsão, que logo é descartada, pois não é compatível com os dados disponíveis para investigação.

Aluno 1: Exatamente, poderia até pegar na traseira e fazer isso (apresentação de uma possibilidade para a segunda hipótese colocado pelo professor), só que aqui está falando que são fragmentos do farol dianteiro.

Quadro 13 - Indicadores de Alfabetização Científica identificados a partir da manipulação do material experimental

INDICADOR	TRECHO QUE EVIDENCIA O INDICADOR
Teste de hipóteses	<i>Lançamento dos carrinhos de acordo com as duas hipóteses apresentadas</i>
Levantamento de hipótese	<i>Aluno 1: “[...] poderia até pegar na traseira e fazer isso, (apresentação de uma possibilidade para a segunda hipótese colocado pelo professor) [...]”</i>
Classificação de informações/Explicação	<i>Aluno 1: “ [...] só que aqui está falando que são fragmentos do farol dianteiro”.</i>

Fonte: autoria própria

Pode-se perceber nesta única fala diversos indicadores de alfabetização científica e elementos importantes da ação investigativa, dentre eles o teste das hipóteses que foi possível por conta do material disponível (carrinhos). A ausência deste material representaria um obstáculo para a continuação das discussões o que poderia se traduzir em desmotivação por parte dos alunos.

O material possibilitou ainda o levantamento de mais uma hipótese que logo é descartada em função da prévia classificação das informações (dados disponíveis), mas de qualquer forma, fomentou a discussão e a reflexão sobre o problema.

3.4 ANÁLISE DAS DISCUSSÕES DO GRUPO (B) A PARTIR DO PADRÃO DE TOULMIN

A seguir, como já realizado na análise do grupo anterior, apresentamos a organização dos dados no padrão de Toulmin, em suas modalidades simplificada e completa.

Buscamos novamente, relacionar os dados (D) às conclusões (C) por meio de garantias (W) ou justificativas, sendo os dados deste episódio os mesmos do grupo anterior, uma vez que todos os croquis disponibilizados eram idênticos.

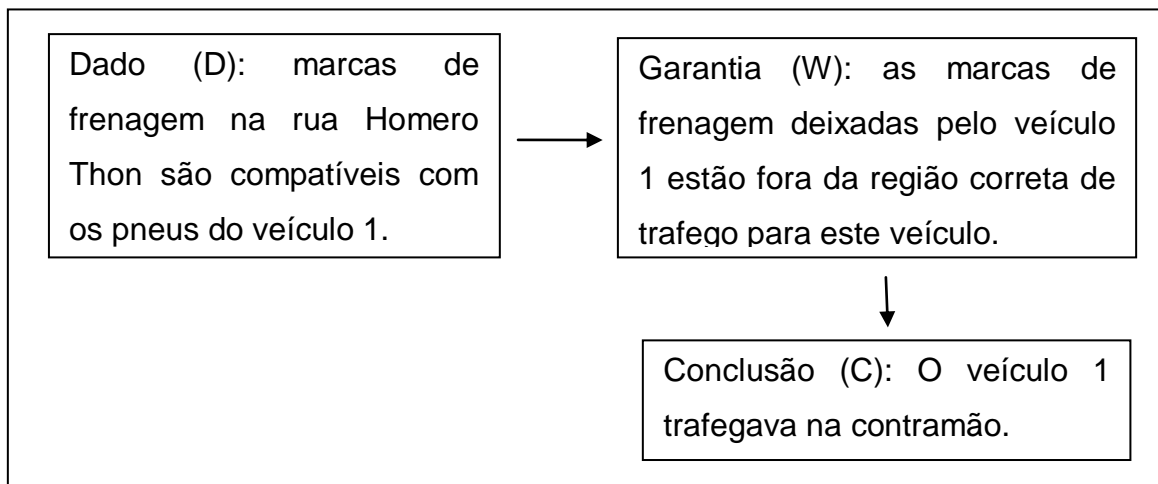
- (a) os fragmentos dispostos na via são compatíveis com a lanterna do veículo 2;*
- (b) as marcas de frenagem encontradas na rua Homero Thon são compatíveis com os pneus do veículo 1;*
- (c) o limite de velocidade da rua Homero Thon é 40 km.h^{-1} .*

Abaixo temos a estrutura argumentativa presente nas falas dos alunos ligando os dados à conclusões por meio de justificativas (garantias), como aponta Toulmin (2006).

Nos quadros abaixo temos a versão simplificada do padrão de Toulmin com a transposição das falas do episódio 1 – B em que os alunos justificam

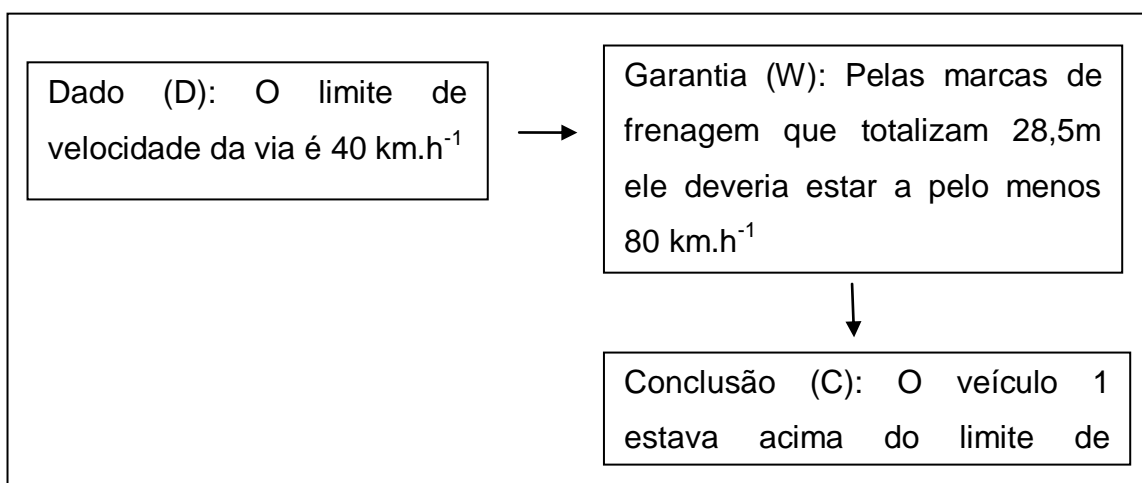
que o veículo 1 trafegou pela contramão acima do limite de velocidade permitido na via.

Figura 10 - Estrutura argumentativa simplificada indicando que o veículo 1 trafegava em local inadequado



Fonte: autoria própria

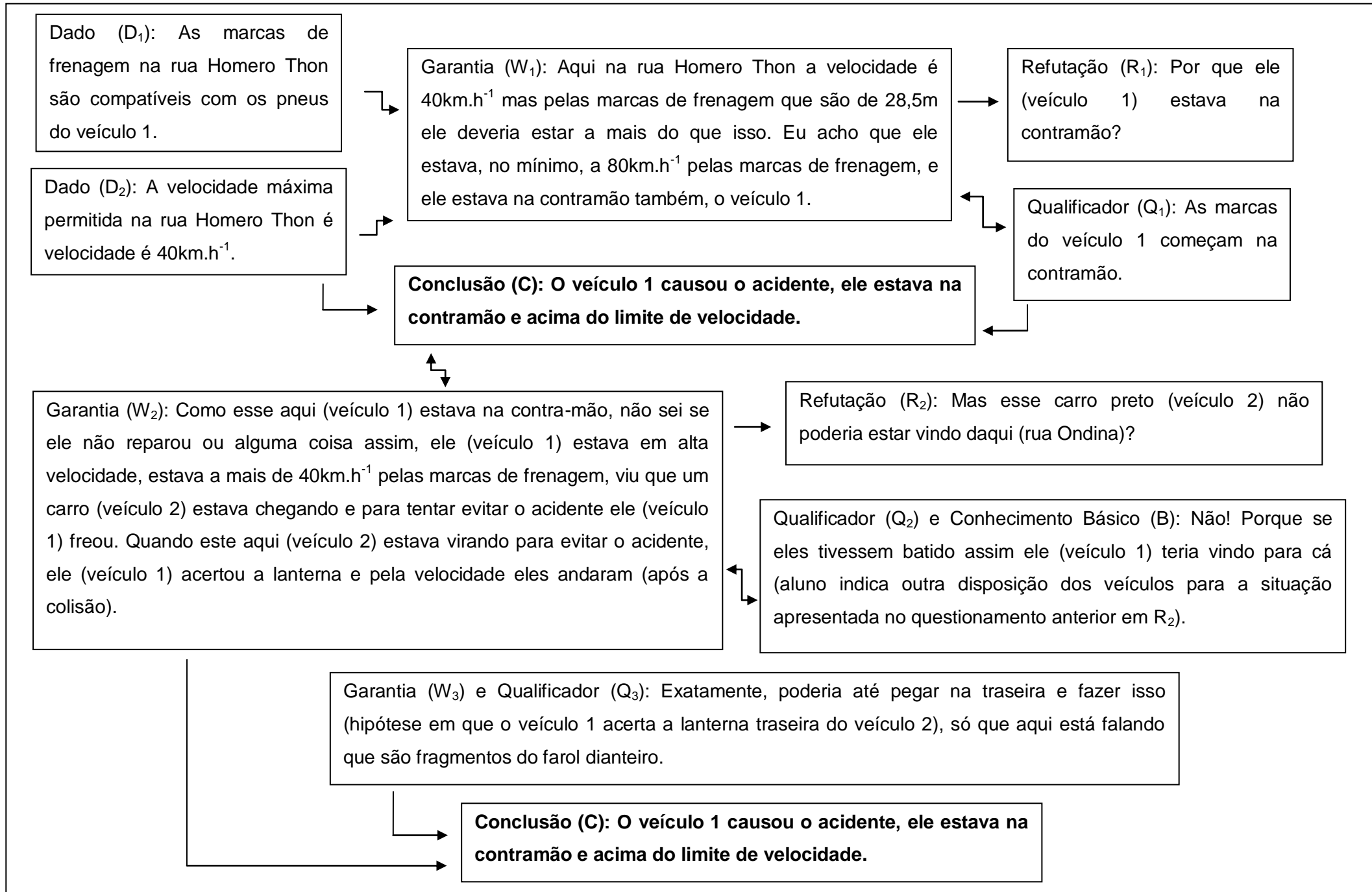
Figura 11 - estrutura argumentativa simplificada indicando que o veículo 1 estava acima do limite de velocidade



Fonte: autoria própria

Conforme apresentado anteriormente na análise das falas do grupo B, notamos que, a medida que novos elementos foram incorporados às falas, a estrutura argumentativa ficou mais coesa e complexa, surgindo, inclusive, mais de uma explicação para um hipótese refutada.

O quadro abaixo ilustra o ganho de estrutura do processo argumentativo em função da inserção de novos elementos às discussões. A seguir a versão completa do padrão proposto por Toulmin:



A estrutura argumentativa completa pode ser dividida em dois momentos: no primeiro os alunos apresentam seus argumentos (W_1) para afirmar que o veículo 1 trafegava na faixa contramão e acima da velocidade (C). Estas duas afirmações se dão em função das marcas de frenagem encontradas na rua Homero Thon compatíveis com os pneus do veículo 1 (D_1 e D_2).

O segundo momento se refere à reconstrução da trajetória dos veículos, motivada pelo questionamento do professor em (R_2), que por sua vez exigiu dos alunos os argumentos que foram apresentados a partir do teste de hipóteses (W_3 e Q_3) com auxílio do material disponível (carrinhos).

Percebe-se, ao longo das falas transcritas e também através da análise desse material, que houve engajamento por parte dos alunos em relação a atividade, o que se justifica pelas próprias discussões que os alunos protagonizaram levantando e testando hipóteses para interpretação do acidente retratado no croqui.

Pode-se notar também, que as discussões iniciadas a partir da apresentação do problema podem, em algum momento da execução da atividade, ficar estagnadas, mas é papel do professor fazer que os alunos cheguem ao desfecho final da atividade, mantendo-os nas discussões, a partir de novos questionamentos, por exemplo, para que possam pensar um problema de outra maneira.

No capítulo seguinte retomaremos alguns pontos principais deste trabalho para expor nossas considerações sobre a pesquisa realizada, suas limitações e contribuições ao ensino de ciências de maneira geral.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a problemática inicial apresentada, o ensino de física pautado apenas na memorização de conteúdos, sem relação com o cotidiano discente (MOREIRA, 2013), sugerimos como contribuição uma proposta que coloque o aluno em papel de destaque em seu processo de ensino e aprendizagem, levando em consideração o conhecimento prévio deste aluno (ZYLBERSTAJN, 1998) para iniciar ou continuar o desenvolvimento das habilidades e competências necessárias ao indivíduo considerado alfabetizado cientificamente (SASSERON, 2008; LORENZETTI, DELIZOICOV, 2001).

Para isso, confeccionamos uma atividade investigativa pautada em física forense, com um problema realístico, possível de acontecer, em que o aluno, na condição de perito responsável pela solução do caso, deveria interpretar um hipotético acidente de trânsito, respondendo aos questionamentos feitos pelo juiz responsável pelo caso (questões norteadoras).

Por sua proximidade ao cotidiano discente, as ciências forenses, de maneira geral, demonstraram-se uma ferramenta em potencial para desencadear discussões sobre temas científicos (CHEMELLO, 2006; SOUZA, 2006), sendo necessário apenas um delineamento para sua implementação em sala de aula (FISCHER, 2002).

A temática forense, do ponto de vista didático, representou um desafio lúdico (RAMOS, 1990) aos alunos, aproximando a atividade de um jogo e inserindo o aluno/jogador na condição de perito responsável pela solução do caso (BOYLE, 2012).

A proposta investigativa, como a embasada em física forense deste trabalho, por ter o potencial de promover discussões, favoreceu o engajamento dos alunos na atividade na condição de perito, discutindo e interpretaram as questões propostas no início da atividade com base em conceitos científicos.

Por isso propomos uma maior articulação entre as ciências forenses e o ensino de física, tendo em vista que o tema desperta interesse entre os jovens e permite a contextualização de conteúdos escolares de ciências (CUNHA; GIORDAN, 2009).

A investigação foi pensada de forma a favorecer a construção do conhecimento em sala de aula (CARVALHO, 1992), fazendo com que os alunos acumulassem repertório enquanto discutiam sobre ciência para reconstruir a dinâmica do acidente, desenvolvendo também as habilidades necessárias à alfabetização científica (SASSERON, 2008; 2011).

Naturalmente, não esperamos que os alunos reconstruam todo conhecimento científico aceito e acumulado ao longo do tempo ao propor tais discussões em sala de aula, mas objetivamos criar um ambiente de debates, com levantamento e teste de hipóteses, o que consideramos ser sadio ao processo de ensino e aprendizagem dos alunos, bem como ao desenvolvimento de habilidades que contribuam para torná-los alfabetizados cientificamente.

No primeiro momento da proposta, aplicamos um questionário inicial para mapear as concepções prévias dos estudantes acerca dos temas mobilizados na atividade (conservação da quantidade de movimento e leis do movimento).

Este levantamento foi importante, pois consideramos, ao longo da proposta, o conhecimento prévio dos alunos, adquirido nos mais diversos ambientes de educação formal e não formal (GASPAR, 1992). Ao longo da proposta os alunos tiveram a oportunidade de testar seus conhecimentos, defendendo ou refutando um ponto de vista por meio de processos argumentativos, daí a importância de conhecer as concepções prévias dos alunos.

A primeira questão do questionário inicial abordava o conceito de inércia a partir da variação do movimento de um veículo. Nesta questão os alunos deveriam relacionar a sensação dos passageiros em duas situações (aceleração e frenagem) do veículo.

Os alunos não apresentaram nenhuma dificuldade para identificar, nas duas situações, para onde se daria o movimento dos passageiros, no entanto uma parcela dos alunos relacionou a manutenção do movimento dos passageiros a uma força, como se um agente externo os empurrassem, sugerindo o conceito de inércia como uma força (GUIMARÃES, 1987).

As demais questões abordavam os conceitos de massa e conservação da quantidade de movimento.

Na segunda questão os alunos deveriam determinar a trajetória de duas bolinhas após uma colisão, mas o choque entre as duas não se deu exatamente no centro das bolinhas. Nessa questão notamos grande dificuldade por parte dos alunos em analisar o caráter vetorial da conservação da quantidade de movimento, ponto central da atividade investigativa.

Notamos aqui alguns indícios de evolução conceitual a partir da proposta, pois num segundo momento, durante a execução da atividade, os alunos conseguiram determinar a trajetória dos veículos envolvidos no acidente utilizando o conceito de conservação da quantidade de movimento.

A terceira questão, por sua vez, relacionava os conceitos de massa e quantidade de movimento, nela os alunos deveriam discutir uma colisão unidimensional entre duas bolinhas de massas diferentes. Nesta questão tivemos respostas diversas, mas de maneira geral, os alunos demonstraram algum conhecimento sobre a relação entre os conceitos de massa e inércia.

Quanto a quarta e última questão, após a análise dos dados obtidos, consideramos que o problema se mostrou inadequado para o público alvo, que tiveram dificuldade em entender a questão.

Na sequência da proposta, os alunos foram divididos em grupos para discutir as questões apresentadas pelo professor, utilizando os materiais disponíveis para a atividade (croqui e carrinhos).

Destacamos, mais uma vez, a importância dos carrinhos para o desenvolvimento da atividade, pois o teste de algumas hipóteses levantadas só foi possível a partir da colisão dos carrinhos. A ausência desse material representaria um impedimento à continuidade das discussões entre os alunos e professor.

Durante a análise dos dados conseguimos notar o envolvimento dos alunos com o jogo (RAMOS, 1990), que se traduziu na forma de motivação para elucidar o hipotético acidente e determinar o culpado.

Conforme previsto, em literatura da área, notamos a presença dos indicadores de alfabetização científica nas falas dos alunos, o que aponta para o desenvolvimento de algumas habilidades que almejávamos no início do trabalho em apreciação, tais como a aptidão para articular ideias e fazer julgamentos, bem como capacidade de resolução de problemas.

Quanto à utilização do padrão de análise de argumentações proposto por Toulmin (2006), notamos que ao longo das discussões, a estrutura argumentativa dos alunos ficou mais complexa a medida que novos elementos do padrão foram aparecendo, tais como as refutações e os qualificadores modais.

Os resultados obtidos, no contexto específico em que a pesquisa aconteceu, demonstram que a proposta favoreceu o engajamento dos alunos na atividade investigativa, propiciando as discussões que, por sua vez, nos permitiram encontrar indícios de evolução conceitual por parte dos alunos, além de contribuir para o desenvolvimento de habilidades que consideramos essenciais ao aluno enquanto cidadão.

Após a elaboração, implementação e análise do trabalho apresentado, identificamos algumas limitações na proposta, tais como:

Por se tratar de um estudo de caso, com uma amostra pequena de dados, nossos resultados refletem um contexto específico, impossibilitando generalizações, por exemplo.

No entanto, a título de curiosidade, o autor desta pesquisa lecionou a disciplina de física numa escola estadual de São Paulo por um período, enquanto desenvolvia a pesquisa em apreciação e, nesta passagem pela rede estadual, a proposta foi aplicada em cinco turmas de 40 alunos cada, e o fato que mais chamou a atenção foi que os resultados obtidos foram muito similares aos apresentados neste trabalho.

Outra limitação foi o tempo para sistematizar a proposta em sala de aula, trazendo o material para discussão em outros momentos, o que não foi possível em função do grande volume de conteúdo programado para o bimestre. Sentimos falta de retomar as discussões e sistematizar a atividade com lousa e giz.

Podemos destacar como vantagem da proposta, sua facilidade de implementação em escolas com poucos recursos disponíveis para a atividade do professor, pois o autor desta pesquisa utilizou apenas nove impressões do croqui para as cinco turmas de 40 alunos mencionadas acima.

A temática forense, devidamente adaptada à sala de aula, demonstrou, em nossas análises, a capacidade de inserir alunos dos anos finais do ensino fundamental em discussões sobre temas científicos, como a conservação da

quantidade de movimento. Tal observação já nos parece um excelente resultado, pois inserimos os alunos em um ambiente de discussões sobre ciência.

É claro que o ensino por investigação ou a proposta em tela não representam a única forma de fazer com que os alunos discutam e aprendam sobre ciência, mas nossos resultados sugerem uma maior aproximação de propostas como a apresentada ao ensino de ciências de maneira geral, quando o resultado esperado for o desenvolvimento do processo de alfabetização científica (HURD, 1998; SASSERON, 2008).

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, M. C. P. S. A.. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. (Org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Cengage, p. 19-33, 2005.
- BACHELARD, G. **O racionalismo aplicado**. Rio de Janeiro, Zahar. (1977)
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo, ed. 70, 2011.
- BOGDAN, R., BIKLEN, S. **Investigação Qualitativa em Educação – Uma introdução à teoria e aos métodos**. São Paulo, Porto Editora, 1999.
- BOYLE, E. A., Engagement in digital entertainment games: A systematic review. **Computers in Human Behavior**. v. 28, p. 771-780, 2012.
- CAPECCHI, M. C. M.; CARVALHO, A. M. P. Argumentação numa Aula de Física. In: CARVALHO, A. M. P. (org). **Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática**. Ed. Thomson: São Paulo, SP, 2004.
- CAPECCHI, M. C. V. M & CARVALHO, A. M. P.. Interações discursivas na construção de explicações para fenômenos físicos em sala de aula. **Atas do VII EPEF**, Florianópolis SC, 2000.
- CARVALHO, A. M. P. de O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, p.1-20, 2013
- CARVALHO, A. M. P., Ensino de Física nos Anos Iniciais: Análise da Argumentação na Resolução de uma “Atividade de Conhecimento Físico”. **Investigações em Ensino de Ciências** (Online), v. 17, n. 2, p. 489-507, 2012.
- CARVALHO, A. M. P. Ensino e aprendizagem de Ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas - (SEI). In: Marcos Daniel Longhini. (Org.). **O Uno e o Diverso na Educação**. ed 1. Uberlândia: EDUFU, p. 253-266, 2011.
- CARVALHO, A. M. P. Construção do conhecimento e ensino de ciências. **Em Aberto**, Brasília, v. 11, n. 55, p. 9-16, 1992.
- CHEMELLO, E. Ciência forense: impressões digitais, **Química Virtual**, 2006.
- CUNHA, M. B.; GIORDAN, M. A imagem da ciência no cinema. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 1, p. 9-17, 2009.

DELL'ARETI, Bianca. **O que textos fazem e como fazem textos em uma aula de Ciências da Natureza**: um estudo de práticas sociais relacionadas à escrita. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

DELIZOICOV, D. Problemas e Problematisações. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física**: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. ed 2. Florianópolis: Editora da UFSC, v., p. 125-150, 2005.

DIAS F. C. R.; ANTEDOMENICO, E. A perícia criminal e a interdisciplinaridade no ensino de ciências naturais. **Química nova na escola**, v. 32, n. 2, p. 67-72, 2010.

DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. **Science Education**, p. 1059-1073, 2000.

DRIVER, R.; ASOKO, H.; LEACH, J.; MORTIMER, E.F. & SCOTT, P. Constructing scientific knowledge in the classroom. **Educational Researcher**, 23 (7), 1994.

DUKKIPATI, V. R.; PANG, Jian; Qatu, M. S.; Sheng, G.; Shugang, Z. **Road Vehicle Dynamics**. Warrendale: SAE International, 2008.

FERREIRA, J., TESTONI, L. A. **Física Forense**. Monografia. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2008.

FIEDLER-FERRARA, N., MATTOS, C., Seleção e organização de conteúdos escolares: recortes na interdisciplinaridade. **Anais do Encontro de Pesquisa em Ensino de Física VIII**, Águas de Lindóia. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, (CD-ROM, arquivo: C081_2) p. 15, 2002

FISCHER, R. M. B.; O dispositivo pedagógico da mídia: modos de educar na (e pela) TV. **Educação e Pesquisa**. [online]. v. 25, n.1, p. 151-162, 2002.

GASPAR, A. O ensino informal de ciências: de sua viabilidade e interação com o ensino formal à concepção de um centro de ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Santa Catarina, v. 9, n. 2, 1992.

GIACOMINI, A.; LÜDKE, E. A desvalorização profissional do professor: um problema crônico apontado no programa pacto na região central do Rio Grande do Sul. **Vivências** (URI. ERECHIM), v. 14, p. 47-55, 2018.

GUIMARÃES, L. A. M. **Concepções Prévias x Concepções “oficiais” na Física do 2º grau**, Dissertação (mestrado). UFF. Niterói, 1987

HURD, P. D., “Scientific Literacy: New Minds for a Changing World”, **Science Education**, v. 82, n. 3, 407-416, 1998.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P.; DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. Discurso de aula y argumentación en la clase de ciências: cuestiones teóricas y metodológicas. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 21, n. 3, p. 359-370, 2003.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P.; BUGALLO RODRÍGUEZ, A.; DUSCHL, R. A. "Doing the lesson" or "doing science": argument in high school genetics. **Science Education**, Hoboken, v. 84, p. 757-792, 2000.

JOHN, W. JEWETT, Jr.; RAYMOND A. SERWAY. **Princípios de Física**. vol. 1: Mecânica Clássica - Tradução da 3ª edição norte-americana. Editora: Cengage learning, 2011.

KLEER, A. A. THIELO, M. R.; SANTOS, A. C. K. A Física utilizada na investigação de acidentes de trânsito. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 14, n. 2, p. 160-169, 1997.

LEMKE, J. L. Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: MARTIN, J. R. E.; VEEL, R. (Ed.). **Reading science: functional perspectives on discourses of science**. London: Routledge, p. 87-113, 1998.

LEMKE, J. L. **Aprender a hablar ciencia**. Barcelona: Paidós, 1997.

LEMKE, J. L. **Talking science**. language, learning and values. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 1990.

LORENZETTI, L. E DELIZOICOV, D., "Alfabetização científica no contexto das séries iniciais", **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v.3, n.1, 37-50, 2001.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M.; **Pesquisa em Educação: Uma Abordagem Qualitativa**, São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1996.

MARTINS, R. A.. A maçã de Newton: história, lendas e tolices In: SILVA, C. C. (Org.) **Estudo de História e Filosofia das Ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física. p. 167-189, 2006.

MASETTO, M. **Didática: A aula como centro**. São Paulo: FTD, 1996, p.42-47.

MEIRA, H. M. **Reconstrução de acidentes de trânsito utilizando vestígios de frenagem de veículos com ABS**. 91 p. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MOREIRA, M. A. Grandes Desafios para o Ensino da Física na Educação Contemporânea. **Conferência proferida na XI Conferencia Interamericana sobre Enseñanza de la Física**, Guayaquil, Equador, 2013.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino do método científico. **Caderno catarinense de ensino de física**. Florianópolis. Vol. 10, n.2, p. 108-117, 1993.

NEGRINI NETO, O; KLEINUBING, R. **Dinâmica dos Acidentes de Trânsito - Análises, Reconstrução e Prevenção**. Campinas: Editora Millennium, 2009.

NUSSENZVEIG H. M. **Curso de Física Básica 1: Mecânica**, ed. 4, Editora Edgard Blücher, 2002.

RAMOS, E. M., **Jogos e Brinquedos no Ensino de Física**. São Paulo: FEUSP, Tese, 1996.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de Toulmin. *Ciência & Educação*, v. 17, n. 1, p. 97-114, 2011.

SASSERON, L. H., **Alfabetização Científica no ensino Fundamental – Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula**, tese apresentada à Faculdade de Educação da USP, 2008.

SEBASTIANY, A. P.; PIZZATO, M. C.; DEL PINO, J. C.; SALGADO, T. D. A utilização da Ciência Forense e da Investigação Criminal como estratégia didática na compreensão de conceitos científicos. **Didática de La Química**, v. 24, n.1, p. 49-56, 2013.

SKUKAUSKAITÉ, S.; LIU, Y.; GREEN, J. L. Editorial Introduction: Logics of Inquiry for the Analysis of Video Artefacts: Researching the Construction of Disciplinary Knowledge in Classrooms. **Pedagogies: an International Journal**. v. 2, n. 3, p. 131-137, 2007.

SOUZA, E. J. ; YOSHIMURA, M. T. S.; MATOS, P. A.; TESTONI, L. A. O Jogo Do Perito: Uma Proposta Investigativa Para O Ensino de Ciências Utilizando Elementos De Física Forense. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - ENPEC**, 2017, Florianópolis. XI Enpec.

SOUZA, E. J.; TESTONI, L. A.; BROCKINGTON, J. G.; SOUZA, P. H. A perícia criminal vai à escola: uma proposta de utilização de elementos de física forense no ensino de ciências. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - ENPEC**, 2015, Águas de Lindoia. X Enpec.

SOUZA, C. M. et al. Física Forense: A Física a serviço da Lei. **XVIII Seminário de Pesquisa XIII Semana de Iniciação Científica e I Jornada Paranaense de Grupos Pet**. Anais, CD-Room Guarapuava-PR, 2006.

TESTONI, L. A., **Um corpo que cai: as histórias em quadrinhos no ensino de física**. São Paulo: FEUSP, Dissertação, 2004.

TOULMIN, S. E. **Os Usos do Argumento**, São Paulo: Martins Fontes, ed. 2, 2006.

VAN MANEN, M. **Researching lived experience: human science for an action sensitive pedagogy**. State University of New York Press, 1990.

VILLANI, C. E. P.; NASCIMENTO, S. S. A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do Ensino Médio. **Investigações em ciências**, v. 8, n. 3, UFRGS, Porto Alegre, 2003.

ZANETIC, J. **Física Também é Cultura**, Tese de Doutorado. São Paulo: FE-USP, 1989.

ZYLBERSZTAJN, A. Resolução de Problemas: uma perspectiva Kuhniana. In: **VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 1998, Florianópolis. Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (CD Rom), 1998.

ZYLBERSTAJN, A. Concepções espontâneas em Física: exemplos de dinâmica e implicações para o ensino. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 3-16, 1983.

APÊNDICE A – Resolução das questões norteadoras

1. Qual o limite de velocidade na rua Homero Thon?

Nessa questão espera-se que os alunos façam a identificação e classificação das informações disponíveis na atividade investigativa. O valor da velocidade de tráfego na via é 40km.h^{-1} como podemos observar no croqui.

2. Algum dos veículos invadiu a faixa contramão? Justifique sua resposta.

Sim, podemos identificar por meio das marcas de frenagem compatíveis com os pneus do veículo 1, encontradas em lugar inadequado na via, que o veículo 1 invade a faixa contramão na rua Homero Thon.

3. Explique o movimento do veículo 1 mesmo após o “travamento” das rodas.

Considerando que o sistema de freio do veículo 1 não é do tipo ABS e que as rodas travaram no momento do acionamento do pedal de freio, o carro pode então ser analisado como um bloco em situação de escorregamento na via.

Como o veículo possuía uma velocidade diferente de zero no momento da frenagem, ele tenderá a permanecer em movimento após o travamento das rodas. Nesse momento, a única força externa que atua no veículo é a força de atrito, que neste caso, é responsável por produzir a popular desaceleração do corpo.

4. Como aconteceu o acidente?

Para reconstruir a dinâmica do acidente devemos considerar a trajetória inicial dos dois veículos.

A trajetória do veículo 1 pode ser facilmente determinada a partir das marcas de frenagem encontradas em local inadequado da via, quanto ao veículo 2, temos duas possibilidades de trajetórias, pela rua Homero Thon,

assim como o veículo 1 ou pela rua Ondina. A problemática foi pensada de forma a possibilitar o debate sobre a trajetória do veículo 2 antes da colisão.

A questão pode ser resolvida com auxílio dos carrinhos de brinquedo que devem ser disponibilizados para atividade, mas o problema envolve uma questão vetorial da conservação da quantidade de movimento.

Tendo em vista que os veículos não saíram de suas posições de imobilização depois do choque, percebemos, a partir de uma análise vetorial da conservação da quantidade de movimento dos veículos, que seria impossível o veículo 2 estar trafegando pela rua Ondina antes do acidente, pois, se assim fosse, a disposição dos veículos após o acidente seria diferente da observada. Os carrinhos são bastante úteis nesse momento.

Sendo assim, concluímos que o veículo 2 também trafegava pela rua Homero Thon antes do acidente.

5. Seria possível encontrar a velocidade que os veículos trafegavam antes do acidente?

Não foi nosso objetivo determinar a velocidade dos veículos antes colisão, mas consideramos importante discutir essa questão com os alunos durante a atividade.

A partir de algumas informações disponíveis no croqui, podemos estimar um valor mínimo para velocidade do veículo 1 no início do processo de frenagem.

O valor obtido é um valor aproximado, pois no início das marcas de frenagem o veículo 1 já havia sofrido uma variação em sua velocidade e, na colisão, consideramos a velocidade final (V_f) como zero, o que na prática não aconteceu, pois, se fosse o caso, o choque não teria acontecido.

Quanto ao veículo 2, não temos elementos suficientes para determinar sua velocidade antes da colisão.